

Energia Solar em Portugal

Mapeamento do potencial fotovoltaico com recurso a Sistemas de Informação Geográfica

Tomás Figueira 51050

Orientador: Professor Doutor José António Tenedório

Co-Orientador: Professor Doutor Fernando Ribeiro Martins

novembro 2019

[DECLARAÇÕES]

Declaro que esta Dissertação é o resultado da minha investigação pessoal e independente. O seu conteúdo é original e todas as fontes consultadas estão devidamente mencionadas no texto, nas notas e na bibliografia.

O candidato,

Tomás Viana Guenaro Figueira

Lisboa, 14 de Novembro de 2019

Declaro que esta Dissertação se encontra em condições de ser apreciado pelo júri a designar.

O orientador,

João A. Viana Figueira

O coorientador,

António Manuel F. Silva

Lisboa, 14 de Novembro de 2019

Resumo

A Europa enfrenta uma procura crescente de energia, sendo necessária a implementação de estratégias claras neste setor. Este é um tema de especial interesse, sendo evidente a sua importância nos dias de hoje, mas também no futuro. Com o desenvolvimento desta dissertação procura-se discutir a problemática existente, no que diz respeito a um abastecimento energético mais acessível, seguro, sustentável e respeitador do ambiente.

No primeiro capítulo, após pesquisa de dados e informação, é feita uma exposição geral sobre energia solar, apresentando alguns conceitos. É analisada a atual situação energética na Europa, identificando os principais problemas no setor. Será feita uma apreciação crítica sobre o futuro próximo, onde novas medidas de eficiência energética devem garantir significativas poupanças de energia tanto para consumidores domésticos como para industriais.

No segundo capítulo, aborda-se a atualidade do setor em Portugal, que aparenta ter um papel cada vez mais relevante na produção de energia renovável e na crescente independência energética. Existem potencialidades a explorar, tendo em conta as características do território, contudo trata-se de um recurso ainda escassamente explorado em Portugal, ao contrário, por exemplo, da energia eólica.

No terceiro capítulo propõe-se o estudo, com recurso a análise espacial em Sistemas de Informação Geográfica, de áreas de maior potencial solar em três distritos escolhidos, Faro, Beja e Castelo Branco; aproveitar para efeitos de validação técnica os índices apurados no projeto de uma infraestrutura fotovoltaica, índices esses considerados extrapoláveis para o presente estudo – trata-se do caso de uma nova central em Espirra, perto de Pegões, concelho do Montijo.

No quarto e último capítulo efetua-se uma análise crítica de resultados, onde são apontadas algumas medidas que poderão beneficiar o setor solar. É analisado o papel de Portugal no setor, assim como são apresentados os resultados e conclusões do estudo do potencial fotovoltaico realizado com recurso ao *software ArcGis*, não deixando de efetuar uma crítica ao método utilizado.

Abstract

Europe is facing increasing energy demand and clear strategies are needed in this sector. This is a topic of special interest, and its importance is evident today, but also in the future. With the development of this dissertation, some of the solutions to the existing problem regarding a more accessible, safe, sustainable and environmentally friendly energy supply are presented.

Initially, in a first chapter, after researching data and information, some known general facts about solar energy are presented, and also some concepts on the topic. The current energy situation in Europe is analyzed, identifying the main problems in the sector. Critical appreciation will be given about the near future, where new energy efficiency measures should ensure significant energy savings for both domestic and industrial consumers.

The second chapter discusses the current state of the sector in Portugal, which appears to play an increasingly relevant role in renewable energy production and increasing energy independence. There are possibilities to explore, taking into account the characteristics of the territory, however it is a resource still scarcely exploited in Portugal, unlike, for example, the wind energy.

The third chapter proposes the study, using data analysis technologies, of areas with a higher solar potential in a given set of districts (Faro, Beja e Castlo Branco); to take advantage, for the purpose of technical validation, of the indices found in the design of a photovoltaic infrastructure, considered extrapolable for the present study - This is the case of a new solar central in Espirra, near Pegões, Montijo.

In the fourth and last chapter a critical review of the dissertation is carried out, where some measures that could benefit the solar sector are pointed out. Portugal's role in the sector is analyzed. The results and conclusions of the study of the photovoltaic potential performed in ArcGis software are also presented, while criticizing the used method.

Índice

Resumo.....	III
Abstract	IV
Índice	V
Abreviaturas	XI
Introdução	1
Capítulo 1 – Quadro geral sobre a energia solar: análise da situação e desafios	2
• Energia Solar.....	2
Energia Solar Fotovoltaica.....	3
Sistemas <i>On-grid</i> e <i>Off-grid</i>	5
Panorama Atual.....	6
Potencial Solar Fotovoltaico.....	8
Radiação Solar	10
Energia Solar Térmica.....	11
Aquecimento e Arrefecimento Solar Térmico	13
Armazenamento de Energia.....	14
Transportes	16
• Acordos e Metas Internacionais.....	18
Panorama Atual.....	18
Medidas no âmbito do desenvolvimento sustentável	20
• Península Ibérica	24
Capítulo 2 – Quadro geral em Portugal: breve síntese	27
• Panorama Atual.....	29
• Novos Projetos em Portugal.....	33
Capítulo 3 – Mapeamento do potencial fotovoltaico com recurso a Sistemas de Informação Geográfica	40
• Enquadramento.....	41
• Resultados	57
Beja.....	57
Faro.....	63
Castelo Branco.....	69

• Modelo Físico	73
Capítulo 4 – Crítica de Resultados e Conclusões.....	74
Bibliografia	80
Anexos	83

Índice de Gráficos

Gráfico 1 - Evolução da dependência energética e da quota de renováveis na produção Elétrica (2005-2017).....	30
Gráfico 2 - Mix de produção elétrica em Portugal (2017).....	30
Gráfico 3 - Evolução da potência instalada do parque eletroprodutor português (2000-2017)	31
Gráfico 4 - Capacidade renovável por distrito e região autónoma.....	32
Gráfico 5 - Capacidade fotovoltaica por distrito e região autónoma	34

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Área total solar térmica instalada em Portugal.....	13
Tabela 2 - Quotas e metas de energia renovável (final 2015)	23
Tabela 3 - Outros Exemplos de Novas Centrais Solares (valores em MVA)	36
Tabela 4 - Principais centrais fotovoltaicas Portugal em termos de potência (a Dez 2018).....	38
Tabela 5 - Subestações RNT Portugal Continental	54
Tabela 6 - Postos de corte e seccionamento da RNT	54
Tabela 7 - Ferramenta de informação dos impedimentos área escolhida 1, distrito de Beja.....	58
Tabela 8 - Novos pedidos licenciamento na região de Ourique	59
Tabela 9 - Resultados do cálculo da irradiação, distrito de Beja.....	60
Tabela 10 - Ferramenta de informação de impedimento áreas escolhidas, distrito de Faro.....	65
Tabela 11 - Resultados do cálculo da irradiação, distrito de Faro	68
Tabela 12 - Novos pedidos licenciamento região Peraboa	71
Tabela 13 - Resultados do cálculo da irradiação, distrito de Castelo Branco	71
Tabela 14 - Resumo estatístico distritos e áreas escolhidas da área de estudo	75
Tabela 15 - Capacidade Instalada Energia Solar (2008-2017)	83
Tabela 16 - Produção Global Energia Solar (2008-2017)	84
Tabela 17 - Capacidade Instalada Energia Solar Fotovoltaica (2008-2017)	85
Tabela 18 - Produção Global Energia Solar Fotovoltaica (2008-2016).....	86
Tabela 19 - Capacidade Instalada Energia Solar Térmica (2008-2017)	87
Tabela 20 - Produção Global Energia Solar Térmica (2008-2016).....	87

Índice de Figuras

Figura 1 - Distribuição da radiação global média anual na Europa.....	9
Figura 2 - Metas para a participação de energias renováveis na energia final (final 2017)	18
Figura 3 - Interligações elétricas e de gás natural pretendidas na Península Ibérica	25
Figura 4 - Centros eletroprodutores renováveis em Portugal (junho 2017).....	33
Figura 5 - Centrais solares em Portugal previstas até 2021	35
Figura 6 - Centrais fotovoltaicas existentes em Portugal (dezembro, 2018).....	38
Figura 7 - Fluxograma geral de procedimentos	43
Figura 8 - Recorte do distrito de Beja e seus elementos.....	44
Figura 9 - MDT (A), mapa declives (B) e mapa declives inferiores 4% (C), distrito de Beja	45
Figura 10 - Exemplos de áreas desocupadas.....	46
Figura 11 - Áreas desocupadas (A) e 'áreas sim' (B), distrito de Beja	46
Figura 12 - 'Áreas não' individualizadas (antes <i>merge</i>), distrito de Beja	47
Figura 13 - Áreas potenciais, distrito de Beja.....	48
Figura 14 - Quadro de configurações da ferramenta de análise solar	49
Figura 15 - Média da irradiação anual, distrito de Beja 2017	50
Figura 16 - Dados estatísticos, distrito de Beja	51
Figura 17 - Irradiação mais elevada após nova classificação, distrito de Beja 2017	51
Figura 18 - Pedidos de licenciamento para centrais solares e RNT	52
Figura 19 - Mapa RNT zona de estudo	55
Figura 20 - Método de análise MDT e <i>hillshade</i> 'áreas finais'	56
Figura 21 - Áreas finais, distrito de Beja.....	57
Figura 22 - Área escolhida 1, distrito de Beja.....	58
Figura 23 - Área escolhida 2, distrito de Beja.....	59
Figura 24 - <i>Hillshade</i> áreas escolhidas 1 e 2, distrito de Beja	61
Figura 25 - MDT áreas escolhidas 1 e 2, distrito de Beja	62
Figura 26 - Áreas finais, distrito de Faro	63
Figura 27 - Áreas escolhidas 1, 3 e 4, distrito de Faro.....	64
Figura 28 - Áreas escolhidas 1, 3 e 4 (2), distrito de Faro	64
Figura 29 - <i>Hillshade</i> áreas escolhidas 1, 3 e 4, distrito de Faro	65
Figura 30 - MDT áreas escolhidas 1, 3 e 4, distrito de Faro	66
Figura 31 - Área escolhida 2, distrito de Faro	67
Figura 32 - <i>Hillshade</i> área escolhida 2, distrito de Faro	67
Figura 33 - MDT área escolhida 2, distrito de Faro	68

Figura 34 - Áreas finais, distrito de Castelo Branco	69
Figura 35 - Área Escolhida 1, Castelo Branco	70
Figura 36 - Área escolhida 3, distrito de Castelo Branco	70
Figura 37 - <i>Hillshade</i> áreas escolhidas 1 e 3, distrito de Castelo Branco	71
Figura 38 - MDT áreas escolhidas 1 e 2, distrito de Castelo Branco	72
Figura 39 - Modelo físico implementado em Arcgis	73
Figura 40 - Interseção áreas finais, área escolhida 1, distrito de Castelo Branco.....	76
Figura 41 - <i>Skysize</i> 200 (padrão), distrito de Beja junho 2017	77
Figura 42 - <i>Skysize</i> 512, distrito de Beja junho 2017	77
Figura 43 - <i>Skysize</i> 200 (padrão) <i>zoom</i> 500m, distrito de Beja junho 2017	78
Figura 44 - <i>Skysize</i> 1024, distrito de Beja junho 2017	78
Figura 45 - <i>Skysize</i> 512 <i>zoom</i> 500m, distrito de Beja junho 2017	79
Figura 46 - <i>Skysize</i> 1024 <i>zoom</i> 500m, distrito de Beja junho 2017	79

Abreviaturas

APREN - Associação Portuguesa de Energias Renováveis

bmc – mil milhões de metros cúbicos

COS – Carta de Ocupação do Solo

e2p - Energias Endógenas de Portugal

EDP - Energias de Portugal

EUA – Estados Unidos da América

GNL - Gás Natural Liquefeito

GPS - *Global Positioning System*

ha - hectares

IEA - *International Energy Agency*

INEGI - Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial

IST – Instituto Superior Técnico

MDT – Modelo Digital de Terreno

mtep – milhões de toneladas equivalentes de petróleo

ONU - Organização das Nações Unidas

PNAER - Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis

PV - Fotovoltaico

REN - Redes Energéticas Nacionais

RNT - Rede Nacional de Transporte

SIG – Sistemas de Informação Geográfica

SQL - *Structured Query Language*

ST – Solar Térmico

TIF – Tarifas *Feed-In*

UE – União Europeia

Wh – *Watt*-hora

Wh/m² – *Watt*-hora por metro quadrado

Introdução

O principal foco desta dissertação é o estudo, com recurso a *software* SIG, relativo ao potencial fotovoltaico nos distritos de Faro, Beja e Castelo Branco. A ferramenta utilizada permite quantificar a irradiação incidente em determinado ponto. Assim, pretende-se conseguir um conjunto de polígonos ou zonas com elevado potencial solar e por conseguinte, que consigam albergar uma central fotovoltaica. Vários parâmetros, como declives, proximidade de zonas protegidas, entre outros, terão de ser considerados.

O recurso solar assume atualmente particular interesse, visto ter uma taxa de crescimento elevada e um grande potencial. Sabendo que o nosso país é frequentemente associado e conhecido pela quantidade de radiação recebida e pela insolação (número de horas de Sol por ano), atraindo milhares de turistas, é interessante estudar as potencialidades deste recurso, sobretudo em situações que incorporem soluções em ambiente SIG, e que benefícios se podem obter a partir da sua exploração.

Num contexto mais teórico, abordam-se questões importantes na atualidade do setor energético, como o armazenamento de energia, a situação da Península Ibérica e em particular a portuguesa, metas impostas ou a impor ao nível da quota de consumo de energia renovável e soluções que possam ser postas em vigor no combate à atual dependência energética.

As energias renováveis podem ser o centro de um novo paradigma de produção de energia, já que, é necessário reduzir o impacto negativo que a atividade humana tem no planeta. Este tipo de energia é cada vez mais uma aposta global, acompanhada por reduções acentuadas nos custos da energia solar fotovoltaica e da energia eólica, em particular, sendo uma alternativa aos insustentáveis combustíveis fósseis.

É, no entanto, essencial garantir uma sustentabilidade energética, assegurando uma gestão racional dos recursos disponíveis, satisfazendo as necessidades atuais, sem comprometer as gerações futuras. A *International Energy Agency* (IEA) espera que, até 2022, a produção de eletricidade renovável aumente mais de um terço¹.

¹ Consultado www.iea.org/topics/renewables/

Capítulo 1 – Quadro geral sobre a energia solar: análise da situação e desafios

- **Energia Solar**

A energia solar, proveniente da luz ou do calor do Sol, pode ser transformada através de dois métodos distintos: i) solar fotovoltaico (PV), que utiliza células em material semicondutor, normalmente silício, para converter a radiação solar diretamente em eletricidade; ii) e solar térmico (ou solar térmico concentrado), em que a energia da radiação é convertida em calor e transferida para um fluido.

A energia solar apresenta um conjunto alargado de vantagens:

i) É uma energia sustentável, sem emissão de gases com efeito de estufa para a atmosfera;

ii) Os painéis fotovoltaicos exigem pouca manutenção (ao contrário das baterias);

iii) Os painéis fotovoltaicos são de fácil instalação;

iv) Os preços dos painéis fotovoltaicos têm vindo a descer e a expectativa é de continuação dessa tendência;

v) Os sistemas são totalmente silenciosos (ao contrário, por exemplo, das turbinas eólicas), podendo ser instalados sem problema nas zonas urbanas e de maior densidade populacional.

Além disso, é um recurso inesgotável, existente em todo o planeta, com poucas exceções. Portugal é um dos países da Europa com mais tempo de exposição solar. A média anual é aproximadamente 8h/dia com recepção superior a 1200W/m^2 . A energia solar diária que chega a Portugal é em média 430.000 GWh o que representa aproximadamente a energia que o país gasta em 1000 dias².

Apesar das vantagens referidas, nomeadamente o baixo custo de manutenção, o investimento inicial e os custos de instalação exigidos em sistemas PV continuam a ser mais elevados do que os necessários nos sistemas convencionais (não renováveis).

² Vantagens da Instalação de Painéis Solares de Tubos de Vácuo. (n.d.), retirado de <https://docplayer.com.br/6362366-Vantagens-da-instalacao-de-paineis-solares-de-tubos-de-vacu.html>

Energia Solar Fotovoltaica

A energia solar fotovoltaica é obtida pela conversão direta da luz solar em eletricidade. Essa conversão é feita utilizando painéis fotovoltaicos, compostos por células que captam a luz (células fotovoltaicas).

A tecnologia fotovoltaica atualmente pode ser dividida em três subcategorias de células: i) as de 1ª geração (90% do mercado), feitas a partir de silício, abrangendo soluções monocristalinas (mais comuns), policristalinas e amorfa; ii) as de 2ª geração, que correspondem às soluções de película fina, na qual a solução amorfa pode ser igualmente incluída, segundo alguns manuais; iii) e as de 3ª geração, que englobam conceitos de células solares mais recentes, na sua maioria ainda na fase de desenvolvimento, embora algumas sejam utilizadas no setor aeroespacial e em células multi-junção³.

No que respeita à 1ª geração, o silício monocristalino é o mais antigo, sendo utilizado em vários tipos de aplicações terrestres de média e elevada potência. Apresenta uma eficiência aproximada de 16% (24% em laboratório). O silício policristalino, constituído por um número muito elevado de cristais, é uma alternativa por um lado um pouco mais barata, mas por outro, menos eficiente. A eficiência deste tipo de células no mercado é no máximo 14% (18% em laboratório). Já o silício amorfo não tem estrutura cristalina e absorve a radiação solar de uma forma mais eficiente que o silício. As células de silício amorfo são as que apresentam o custo mais reduzido, mas em contrapartida o seu rendimento é o mais reduzido, de aproximadamente 6% a 8% (13% em laboratório). Esta tecnologia constituiu a transição entre as células de primeira e de segunda geração.

Respondendo a uma necessária redução no consumo de silício, surgem as células solares de segunda geração, as chamadas películas finas, partículas semicondutoras com uma espessura reduzida e a vantagem de serem mais leves, permitindo aplicações integradas em fachadas de edifícios. Estes painéis demonstram ser mais vantajosos em

³ Proença, E.D.R.B. (2007). A Energia Solar Fotovoltaica Em Portugal (Instituto Superior Técnico).Retirado de:<https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395137487931/Tese%20%20A%20Energia%20Solar%20Fotovoltaica%20em%20Portugal.pdf>

relação aos painéis *standard*, graças ao custo de instalação, espaço ocupado e ainda em termos da pegada de carbono.

A quantidade de silício usada nos painéis tradicionais é muito elevada, o que significa que o impacto ambiental para criar uma célula de película fina é muito menor. Contudo, a questão da menor eficiência energética (entre 11 e 13%) foi considerada um aspeto negativo, o que afetou a inclusão desta solução no mercado fotovoltaico doméstico. No entanto, testes realizados em 2016 demonstraram subidas de eficiência até 25%, e espera-se que a diferença de eficiências dos painéis diminua ainda mais nos próximos anos⁴.

Uma célula individual, unidade de base dum sistema fotovoltaico, apresenta uma reduzida potência elétrica, que tipicamente varia entre 1 e 3W, com uma tensão menor que 1V. Para disponibilizar potências mais elevadas, as células são integradas num conjunto, formando um módulo (ou painel). Ligações em série de várias células aumentam a tensão disponibilizada, enquanto que ligações em paralelo permitem aumentar a intensidade da corrente elétrica. A maioria dos módulos comercializados é composta por 36 células de silício cristalino, ligadas em série, para aplicações de 12V. Quanto maior for o módulo, maior será a potência e/ou a corrente disponível.

Encontram-se, geralmente, 3 tipos de painéis solares:

i) Painéis de baixa voltagem/baixa potência feitos de 3 até 12 pequenos segmentos de silício amorfo. A tensão situa-se entre 1,5 e 6V, e a potência é de alguns miliwatts. O uso de este tipo de módulos é frequente em relógios, calculadoras...etc.

ii) Pequenos painéis de 1-10 W e 3-12V. A utilização principal destes módulos é feita em rádios, jogos, pequenas bombas de água...etc.

iii) Grandes painéis de 10 até 60W, com uma tensão de 6 ou 12V. A sua principal utilização é essencialmente em grandes bombas de água, para responder às necessidades de eletricidade de caravanas (luz e aquecimento/arrefecimento) e também em habitações⁵.

⁴ Thin film solar panels: do they make sense for residential? Retirado de: <https://news.energysage.com/thin-film-solar-panels-make-sense/>

⁵ Micro-gera, T. D. E., & Perif, S. (n.d.). 6 – Painéis Solares Fotovoltaicos 48, 48–52.

Referir que a capacidade solar global subiu 23,8% em 2017, para um total acumulado de aproximadamente 389,6GW (384,6GW correspondentes ao setor fotovoltaico e 4,95GW ao setor térmico)⁶.

Sistemas *On-grid* e *Off-grid*

Os sistemas de produção de energia solar PV podem ser divididos em dois grupos: sistemas *on-grid* e sistemas *off-grid*.

Os primeiros, são sistemas PV ligados à rede, que complementam ou substituem a energia elétrica. Estes sistemas estão presentes principalmente em edifícios e zonas urbanas, por exemplo nos telhados ou paredes de edifícios, permitindo uma redução dos custos energéticos. São mais eficientes e dispensam o uso de baterias, contudo necessitam de uma ligação à rede, não funcionando em caso de falha elétrica.

Já os sistemas *off-grid* caracterizam-se por serem sistemas isolados, para instalação em locais remotos e sem acesso à rede ou nos quais o custo de acesso à rede é muito elevado. Torres de telecomunicações e iluminação, casas de campo e sistemas bombeamento de água e irrigação são as aplicações mais comuns deste tipo de sistema. Permite o armazenamento de energia, mas necessita uso de baterias.

Tendo em conta o atual problema da dependência externa de matérias-primas, torna-se imprescindível a utilização de outras fontes de energia que possam substituir o petróleo, e é aqui que o papel das energias renováveis se torna fulcral. No entanto o custo da eletricidade produzida pelo sistema fotovoltaico é maior que o custo da eletricidade gerada pelos sistemas tradicionais e o desenvolvimento destas novas tecnologias faz com que o seu investimento seja mais caro que o das energias convencionais, e mais incerto no que toca ao retorno do investimento feito. Para solucionar este problema foi criado o sistema de *Feed-In Tariff*, que pode ser considerado como uma tarifa, estabelecida por lei, no qual os produtores de energia renovável são renumerados pela eletricidade que injetam na rede, de acordo com a tecnologia usada, local de instalação ou dimensão do centro eletroprodutor.

⁶ BP. (2018). 67 th edition. Statistical Review of World Energy, 1–56.

Este modelo incentivou o desenvolvimento das energias renováveis na Europa e permitiu ultrapassar alguns problemas como a incerteza do retorno do investimento feito pelos produtores de energia. Nos últimos 20 anos, mais de 45 países implementaram este esquema que surgiu nos EUA. Portugal implementou este sistema em 1999⁷.

Panorama Atual

O setor solar fotovoltaico tem vindo a crescer a um ritmo significativo um pouco por todo o mundo. O crescimento relevante deste setor (e o das energias renováveis em geral), a par de uma subida drástica e contínua dos preços do petróleo conduziram-nos, segundo Jager-Waldau (2007), a um aumento dos apoios em termos de políticas governamentais e do interesse por parte de instituições de financiamento.

Apesar disso, pela primeira vez ao fim de várias décadas, a Europa perdeu a liderança no investimento anual em energia solar fotovoltaica, tendo esse lugar sido ocupado pela Ásia. Os fortes investimentos da China e Japão a par da quebra do investimento na Europa foram os principais fatores que contribuíram para a inversão da situação. A queda nos custos (especialmente na energia solar PV) combinada com os desenvolvimentos tecnológicos permitiu que as energias renováveis desempenhassem um papel crescente no fornecimento de energia. Em economias emergentes e em desenvolvimento, bem como em áreas isoladas, como ilhas ou comunidades rurais isoladas (onde os preços da eletricidade tendem a ser altos se não forem fortemente subsidiados), as soluções habituais de fornecimento de energia podem revelar-se pouco confiáveis, enquanto os recursos de energia renovável são abundantes e tornam a eletricidade renovável mais competitiva em relação a outras opções.

O ano de 2017 foi um marco para o setor fotovoltaico, onde mais energia solar PV foi instalada do que a capacidade adicionada proveniente de combustíveis fósseis e energia nuclear combinados.

⁷ Fernandez, S. (2014). A importância do desenvolvimento das Energias Renováveis através das Tarifas Feed-In (Universidade Católica Portuguesa).

O crescente interesse na energia solar fotovoltaica é também visível em alguns países que pretendem instalar produção local de eletricidade. Com a queda dos custos e com os avanços tecnológicos emerge uma nova procura, impulsionada cada vez mais pelo auto-consumo onde existem políticas de apoio em vigor. Várias centrais consideradas como de 'utilidade pública' estavam em instalação durante 2017 em Itália, Portugal, Espanha e Reino Unido.

Os preços em queda, juntamente com os mercados em expansão, atraem novos investimentos na indústria. Empresas de combustíveis fósseis (incluindo *BP*, *Shell*, *Total* e *Banpu*, empresa ligada ao carvão) e até mesmo fabricantes de automóveis e baterias (como a *Hyundai*, *Kia* e *BYD*) têm também vindo a marcar presença no setor.

Considerando centrais a partir de 4MW de capacidade, mais de 70 países tinham projetos instalados até ao final de 2017, e a capacidade global total dessas instalações era de 140GW aproximadamente. O planeamento ou construção de grandes projetos ocorreu em quase todas as regiões do mundo, incluindo por exemplo: i) um projeto de 221MW em Portugal (Alcoutim), relatado como o maior projeto de energia solar não subsidiada da Europa; ii) uma central de armazenamento solar de 102MW no Japão; iii) um projeto de 300MW na Argentina, o maior deste tipo na América Latina; iv) um projeto na Austrália, cuja capacidade totalizará mais de 275,4MW, tornando-se a maior central fotovoltaica em construção no país; v) e um novo parque solar de 350MW no México.

Em 2017 e início de 2018, vários países impuseram taxas sobre as células e módulos solares importados para proteger a produção nacional. A UE adotou essa medida em relação à China e à Malásia.

Mantiveram-se também esforços para progredir nos processos de reciclagem de resíduos e painéis solares (danificados/defeituosos ou em fim de vida útil), embora a atividade neste segmento seja relativamente pequena. Além dos potenciais benefícios ambientais da reciclagem, o processo pode gerar materiais para serem vendidos nos mercados globais de mercadorias ou ser usado para a produção de novos painéis solares⁸.

⁸ Task, I. E. A. P., & Lee, J. (2018). End - of - Life Management of Photovoltaic Panels

Potencial Solar Fotovoltaico

Este é um tema com particular interesse no terceiro capítulo, mas apresentam-se de seguida alguns conceitos.

Quando se pondera um investimento em energias renováveis, neste caso, em energia solar fotovoltaica, deve ser estudada, em primeiro lugar, a viabilidade dessa escolha. Como referido anteriormente, a energia solar PV exige um investimento inicial relevante. Esse investimento consiste essencialmente na aquisição e instalação do sistema que pode ser composto por: painéis fotovoltaicos, inversores (estabelecem a ligação entre o gerador fotovoltaico e a rede elétrica), controladores de carga e baterias (dependendo do tipo de sistema). O investimento inicial é posteriormente abatido pelas poupanças energéticas que o sistema permitirá no futuro.

Assim sendo, quando maior o potencial fotovoltaico do local onde o sistema é instalado, maior deverá ser a produção de energia e, conseqüentemente, maior a taxa de retorno desse investimento. De referir que a área disponível nesse local e a ausência de sombras são de extrema importância.

De acordo com alguns autores, como (Santos et al 2011), a radiação solar incidente numa superfície pode ser medida através de sensores instalados nas estações/satélites meteorológicos, ou pode ser estimada a partir de modelos solares. Assim, a irradiância representa a potência de radiação solar incidente numa superfície, por unidade de área, dada em W/m^2 . Ao integrar a quantidade total de radiação solar incidente na superfície terrestre num dado período de tempo obtém-se a irradiação, medida em Wh/m^2 (Quaschnig, 2003). Já a insolação representa o número de horas de Sol descoberto acima do horizonte. Em Portugal continental, os valores máximos de insolação ocorrem na região de Lisboa (Estoril), na península de Setúbal, na raia Alentejana e no litoral do Algarve com mais de 3000 horas de Sol/ano e os mínimos na região do Minho, com menos de 1800 horas de Sol/ano⁹.

⁹ Atlas do Ambiente (1987), Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica

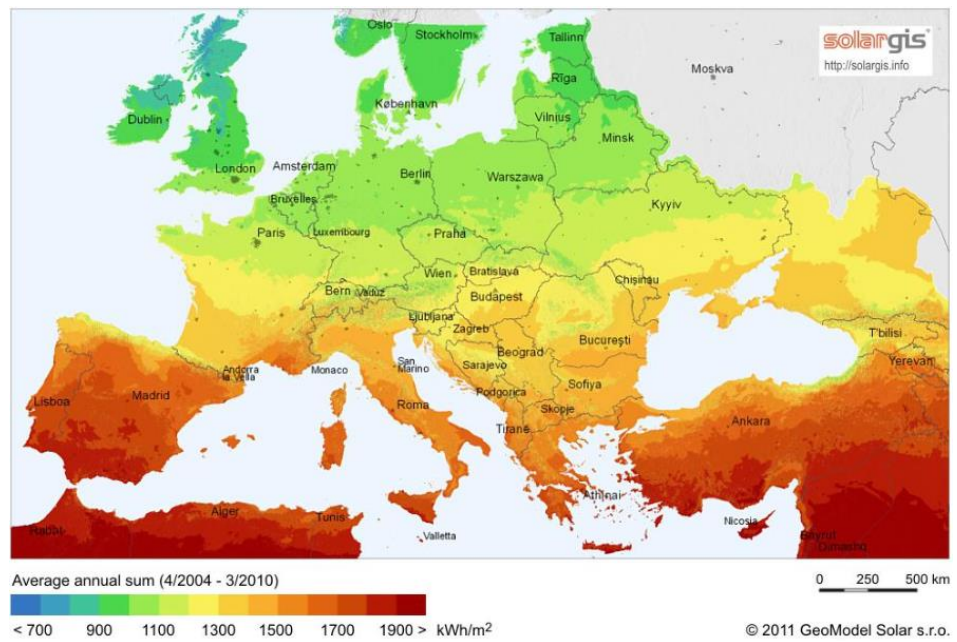


Figura 1 - Distribuição da radiação global média anual na Europa

Radiação Solar

A distribuição da radiação solar recebida na superfície da Terra num determinado ponto é fortemente influenciada por variação de fatores topográficos e características da superfície, como elevação, sombras, orientação e inclinação da superfície. A quantidade de insolação recebida em diferentes locais também varia com a hora do dia e a época do ano e por sua vez, contribui para a variabilidade de fatores como padrões de derretimento de neve e da temperatura do ar e do solo, evapotranspiração, humidade do solo e luz disponível para a fotossíntese¹⁰.

Para avaliarmos o potencial da energia solar fotovoltaica numa determinada região, ou para projetar sistemas fotovoltaicos, interessa caracterizar a radiação solar que chega a cada local a cada instante.

A radiação viaja através da atmosfera para alcançar a superfície, contudo a atmosfera é composta por moléculas como vapor de água, dióxido de carbono e ozono, havendo dispersão e absorção de radiação, levando uma menor radiação à superfície.

A radiação que atinge a superfície decompõe-se em: radiação direta e radiação difusa. A radiação direta é a que atinge a superfície sem qualquer influência, tanto absorção como dispersão. A radiação difusa atinge a superfície depois de interagir com a atmosfera. A radiação global é a soma das radiações difusa e direta.

Estimar a radiação solar, bem como os seus componentes em certas áreas geográficas, é extremamente útil em vários setores: agricultura, meteorologia, ecologia, projetos de construção, gestão do território, entre outros.

No contexto em que se insere esta dissertação, mais concretamente no capítulo três, pretende-se calcular, com recurso ao *software ArcGis* o potencial solar fotovoltaico que determinada zona do nosso país possa ter. Referir que apenas se teve em conta a radiação direta aquando do uso da ferramenta.

¹⁰ Spielmann, A. A., & Tonin, A. (2007), Influência da radiação solar na distribuição das comunidades vegetais nas áreas livres de gelo da Baía do Almirantado, Ilha Rei George, Antártica

Energia Solar Térmica

Desde o início dos tempos da Humanidade constroem-se edifícios de modo a aproveitar a luz e o calor solar, aumentando a absorção de radiação e consequentemente da temperatura na habitação. Atualmente existem dois tipos de sistemas que usam este princípio onde o calor pode ser aproveitado: i) o solar térmico para produção de eletricidade; ii) e o solar térmico para aquecimento de fluidos.

Quanto aos sistemas de aquecimento de fluidos, há três configurações possíveis dependendo dos materiais utilizados e das temperaturas a atingir:

- i) os painéis planos, são os mais económicos e comuns devido ao maior uso no setor doméstico e por funcionarem a temperaturas inferiores a 80°C. Usam uma superfície absorvente metálica protegida por uma caixa isoladora com uma cobertura transparente no topo, o que reduz as perdas de energia para o exterior, atingindo assim temperaturas superiores;
- ii) os *Compound Parabolic Collectors* – CPC, tiram vantagem da sua disposição de lentes que permitem receber radiação de vários ângulos de modo a maximizar as reflexões internas. Os raios incidentes a convergem numa superfície absorvora;
- iii) por último os painéis que usam tubos de vácuo, de forma cilíndrica, que tornam a área absorvente praticamente independente da posição do Sol. Estes captam a energia solar com a finalidade de aquecer águas de uso doméstico, piscinas mas também aplicados em climatização. Constatou-se um problema com degradação do sistema por sobreaquecimento em caso de radiação solar prolongada, contudo atualmente existem já vários modelos que oferecem proteção do sistema para esta questão. Os coletores solares de vácuo são compostos por um conjunto de tubos modulares, montados paralelamente, por onde circula a água. O número de tubos pode variar conforme as necessidades de consumo de água quente¹¹.

¹¹ Vantagens da Instalação de Painéis Solares de Tubos de Vácuo. (n.d.), retirado de <https://docplayer.com.br/6362366-Vantagens-da-instalacao-de-paineis-solares-de-tubos-de-vacu.html>

Por outro lado, existem sistemas que podem converter calor em eletricidade; são equipamentos que realizam trabalho a partir de transformações termodinâmicas sofridas pelo fluido com a variação da temperatura e que convertem posteriormente esse trabalho em eletricidade. Contudo, segundo Collares Pereira (2000), para que estes sistemas possam ter rendimentos razoáveis é imprescindível atingir temperaturas muito elevadas quando comparados com os sistemas de aquecimento de fluidos, sendo necessário usar painéis e sistemas ópticos mais complexos, como as lentes de *Fresnel*¹² por exemplo.

Existem também painéis de elevado rendimento quando trabalham com fluidos a baixas temperaturas (20 °C). No entanto possuem configurações mais simples e materiais mais baratos. Este tipo de painéis pode ter dois tipos de configuração: i) os painéis sem cobertura (*unglazed*), onde o material absorvente está diretamente exposto à radiação e ao ambiente perdendo, conseqüentemente, muito calor para o meio que os rodeia; ii) e os painéis com cobertura (*glazed*), presente na maioria dos painéis planos, onde, como vimos, o material absorsor está no interior de uma caixa isolada do meio ambiente com uma cobertura transparente, reduzindo assim as perdas de calor, o que permite ganhos de temperatura superiores.

¹² O princípio desta lente é a quebra da superfície contínua de uma lente num conjunto de superfícies com descontinuidades entre elas, capazes de concentrar a energia do Sol em 30 vezes a sua intensidade. Os espelhos focalizam o Sol num receptor central que contém o meio de transferência de calor que pode ser água, óleo ou mesmo sal fundido em alguns projetos. O meio de transferência de calor usado dependerá da temperatura de operação do sistema. O sistema *Fresnel* também permite o controle individual de cada espelho, alterando a configuração do refletor para otimizar a sua função dando origem ao custo mais barato deste tipo de lentes.

Aquecimento e Arrefecimento Solar Térmico

Os sistemas de aquecimento e arrefecimento solar térmico geraram grande impacto nas áreas residenciais e comerciais em 2017. A tecnologia solar térmica está presente numa ampla gama de aplicações: água quente, aquecimento e arrefecimento de espaços, secagem de produtos, dessalinização de água, fornecimento direto de vapor para processos industriais e comerciais, e ainda na restauração. Os sistemas com coletores *glazed* e *unglazed* (ST de baixa temperatura) forneceram aproximadamente 388TWh de calor em 2017, o equivalente a 228 milhões de barris de petróleo.

Embora a maior parte da capacidade solar térmica continue a ser instalada em edifícios como aquecedores solares de água, o uso de tecnologias de aquecimento solar urbano expandiu-se num número crescente de países durante 2017. Os fatores determinantes incluíram uma maior consciencialização do potencial do aquecimento solar urbano para reduzir consumo de eletricidade e as emissões de dióxido de carbono no setor de aquecimento (particularmente na Europa), a capacidade de fornecer aquecimento e arrefecimento, de acordo com as necessidades ao longo do ano e o potencial para evitar os impactos negativos na saúde das caldeiras de carvão nas áreas urbanas (principalmente na Polónia e na China).

Nos países do sul da Europa com necessidades de arrefecimento nos meses de verão, as soluções solares térmicas mostraram ser uma opção de investimento a considerar¹³. Estas têm tido nos últimos anos uma evolução crescente, demonstrando assim a sua viabilidade e aplicabilidade num país como Portugal. Como evidenciado, o crescimento foi mais acelerado (tabela 1), devido aos incentivos financeiros disponibilizados para a instalação de energias renováveis.

Área total instalada em	Área total de painéis instalados		
	m ²	tep	TJ
2010	748 676	54 728	2 291
2011	875 874	64 026	2 680
2012	966 770	70 671	2 958
2013	1 024 004	74 855	3 133
2014	1 074 971	78 580	3 289
2015	1 121 105	81 953	3 431
2016	1 176 106	83 963	3 515

Fonte: OST 2015 APISOLAR, DGEG

Tabela 1 - Área total solar térmica instalada em Portugal

¹³ Retirado de: solarthermalworld.org

Armazenamento de Energia

A junção da indústria da energia solar fotovoltaica com o armazenamento energético permanece limitada, contudo, nalguns países está a expandir-se rapidamente, nomeadamente na Austrália, Alemanha e Japão. Este tipo de instalação é cada vez mais usado para fornecer energia aos utilizadores que não estão ligados a uma rede, e a redes de pequena dimensão¹⁴.

Trata-se de uma questão bastante importante hoje em dia, já que, neste setor, a produção e o consumo não acontecem em simultâneo e há que contar com dias sem exposição solar. Assim é necessário armazenar a energia captada. Se não houver uma ligação à rede, a solução normalmente usada envolve o uso de baterias. Havendo uma ligação à rede elétrica, existe também a hipótese de fornecer à rede o excedente energético, como vimos anteriormente.

Em vez de depender exclusivamente de um sistema de entrega centralizado (redes alimentadas por centrais distantes entre si e que alimentam milhões de utlizadores), a combinação de energia solar fotovoltaica com armazenamento de energia (armazenamento solar) é uma solução pronta para desempenhar um papel importante numa mudança de paradigma.

Historicamente, os geradores movidos a *diesel* são considerados a solução padrão para fornecimento de energia de emergência em caso de falta de energia distribuída pelas redes. Contudo, muitas vezes, esta solução revela-se pouco fiável, pois estando os geradores de *backup* normalmente parados, exigem uma manutenção específica e dispendiosa, mas também testes de arranque periódicos que, não sendo feitos, tornam estes geradores inoperantes quando necessários.

Outro problema dos geradores a *diesel* é a sua autonomia, tipicamente limitada pela quantidade de combustível que pode ser armazenada no local. Em particular quando há eventos climatéricos extremos, o transporte de combustível adicional pode tornar-se extremamente difícil ou mesmo impossível. Por isso, mesmo que os geradores a *diesel* funcionem adequadamente numa emergência, podem tornar-se insuficientes durante uma interrupção de energia prolongada.

¹⁴ Arias, J. (2018). Solar Energy , Energy Storage And Virtual Power Plants

Com custos cada vez mais baixos nestas tecnologias, o armazenamento solar tornou-se uma opção viável e confiável para energia de emergência. Este tipo de sistemas não só têm a capacidade para fornecer energia durante muito tempo quando a rede está indisponível, como também pode diminuir custos e gerar receita durante a maior parte do tempo em que a rede está a funcionar normalmente. Em muitos casos, essas receitas podem reduzir drasticamente o período de retorno dos investimentos nestes sistemas de armazenamento de energia.

Embora o armazenamento solar possa não ser a solução perfeita para todos os projetos de energia, a sua versatilidade tornam-o ideal para muitas instalações, especialmente aquelas localizadas em ambientes urbanos e residenciais, onde o espaço pode ser precioso. As instalações que fornecem serviços de primeira necessidade serão bons candidatos para disporem de armazenamento solar para fornecimento de energia em caso de emergência; são os casos de escolas, centros comunitários, centros de terceira idade, unidades de cuidados intensivos e unidades habitacionais multifamiliares.

Transportes

Embora o uso de eletricidade nos transportes fosse anteriormente limitado, principalmente ao transporte ferroviário e alguns autocarros, em 2017 começaram a evidenciar-se tendências para estender a eletrificação a todo o setor com carros elétricos de passageiros, *scooters*, bicicletas e trotinetes a tornaram-se mais frequentes em muitos locais. Foram igualmente criados protótipos para camiões, aviões e navios elétricos pesados.

A mobilidade elétrica ajuda a aumentar o uso de energias renováveis nos transportes apenas se esta desempenhar um papel significativo (e crescente) na produção de eletricidade. Já existem exemplos de países e cidades - incluindo a Holanda e as cidades de Deli (Índia) e Santiago (Chile)¹⁵ - que disponibilizam serviço de transporte ferroviário ligeiro e pesado movido a eletricidade renovável. No entanto, apenas a Áustria e a Alemanha adotaram, em 2017, políticas para estimular explicitamente o uso de eletricidade renovável em veículos elétricos, ao criar incentivos financeiros e fiscais para a mobilidade elétrica com uso de eletricidade renovável.

No setor automóvel começam a surgir projetos de carros movidos a energia solar. O *Lightyear One* por exemplo, deve começar a circular na Europa, em 2021¹⁶. A *startup* holandesa *Lightyear*, que criou o modelo afirma que o carro pode percorrer grandes distâncias dependendo apenas de energia solar, podendo também ser conduzido à noite (cerca de 700km) e ser carregado numa tomada tradicional. Outro exemplo é o *Sion*, pertencente à empresa alemã *Sono Motors* (fundada em 2016). É um carro com cerca de 250 células fotovoltaicas localizadas no tejadilho e nas partes laterais do veículo. O novo modelo já está em fase de testes no que ao carregamento de baterias diz respeito e garante gerar energia suficiente para percorrer 250km de forma autónoma. O carregamento do modelo poderá também ser feito numa tomada convencional¹⁷.

¹⁵ Retirado de: <https://earthmaven.io/planetwatch/energy-economics/desert-solar-wind-power-to-fuel-santiago-chile-s-subway-system-woXxXr8SV0eqYoeIGx7ZQ/>

¹⁶ Retirado de: <https://www.theverge.com/2019/6/25/18744078/lightyear-one-solar-powered-electric-car-release-date-price-range-features>

¹⁷ Retirado de: <https://sonomotors.com/en/sion/>

A partir do ano 2019, alguns modelos da *Hyundai* e da *Kia* vão incorporar tejadilhos com painéis solares que permitirão recarregar as suas baterias durante o dia. Em desenvolvimento estão três tipos de painéis: i) a primeira geração destina-se a veículos híbridos; ii) a segunda destaca-se por um novo teto semitransparente nos modelos com motor de combustão interna; iii) a terceira geração desta tecnologia é constituída pela introdução de um tejadilho solar de peso reduzido nos veículos 100% elétricos¹⁸.

Além disso, em 2017, vários países anunciaram sua intenção de proibir a venda de novos carros a *diesel* e gasolina - até 2030 (Índia, Dinamarca, Holanda e Eslovénia) e até 2040 (Espanha, França e Reino Unido)¹⁹.

Todos estes desenvolvimentos ajudarão a promover uma visão mais completa das estratégias de descarbonização, com maior reconhecimento da importância da incorporação de energias renováveis no setor, transição para novos modos de transporte e redução da sua necessidade geral, além de melhorar a eficiência dos combustíveis e padrões de emissão de gases poluentes, até agora o foco principal.

¹⁸ Retirado de : <https://www.portal-energia.com/hyundai-kia-paineis-solares-fotovoltaicos-recarregar-bateria/>

¹⁹ Retirado de: <https://www.bbc.com/portuguese/internacional-42046977>

- **Acordos e Metas Internacionais**

Atualmente, a compatibilização do equilíbrio ambiental com a sustentabilidade económica é uma questão global, existindo, vários acordos e protocolos entre países para viabilizar um desenvolvimento sustentável. A União Europeia tem demonstrado um esforço em garantir uma estratégia energética compatível com a prevenção de alterações climáticas, de tal modo, que para além de ter liderado as negociações do Protocolo de Quioto em 1997, tem já em marcha novos planos Clima-Energia (como o de 2020).

Panorama Atual

Em 2017 foram introduzidas novas políticas ambientais em vários países. No final do ano, 87 países tinham metas para quotas de energia renovável presentes na energia primária ou final²⁰ (figura 3).

A União Europeia foi a única entidade regional a adotar um compromisso coletivo com energia renovável em 2017. O pacote ‘Energia Limpa para Todos os Europeus’ abrange o mercado de energia, políticas de energia renovável e eficiência, e usará um relatório para medir o impacto das políticas sobre o sistema de energia, bem como sobre as metas de emissão.

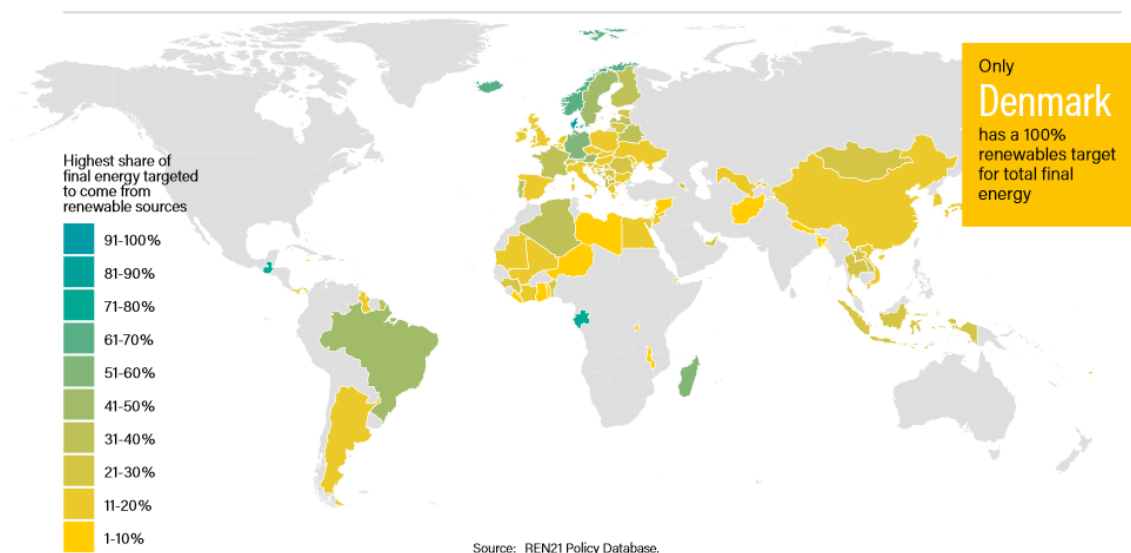


Figura 2 - Metas para a participação de energias renováveis na energia final (final 2017)

²⁰ REN21, (2018), Global Status Report

Acredita-se que combustíveis provenientes de fontes renováveis e mobilidade elétrica possam diminuir a dependência de combustíveis fósseis e juntamente com a promoção da eficiência de combustível e dos transportes públicos, possam guiar o aumento da segurança energética nacional e reduzir a poluição do ar local.

O setor dos transportes é responsável por mais de metade da procura global de petróleo. Naturalmente, a eletrificação ou o transporte baseado em hidrogénio só é renovável na medida em que a eletricidade (ou produção de hidrogénio) for produzida a partir de fontes renováveis. Várias jurisdições foram criadas com o intuito de integrar soluções renováveis no setor dos transportes. Por exemplo, na Europa, 10% dos combustíveis para transporte consumidos em cada Estado-Membro da UE devem advir de fontes renováveis até 2020, e 14% até 2030.

A Diretiva 28/2009/CE, do Parlamento Europeu, introduz a obrigatoriedade dos países membros da UE submeterem um plano de promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis. O Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis (PNAER), fixa objetivos nacionais para cada Estado-Membro relativos à quota de energia proveniente de fontes renováveis consumida nos setores dos transportes, eletricidade e aquecimento e arrefecimento, em 2020.

Medidas no âmbito do desenvolvimento sustentável

A Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento define: 'Desenvolvimento Sustentável é aquele que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades'²¹.

Assim, com a necessidade de compromissos mais rígidos para a redução das emissões de gases de efeito de estufa, surgiu em 1997, no Japão, o Protocolo de Quioto (em vigor desde 2005), que estabeleceu um conjunto de metas com vista à redução da emissão de gases poluentes nos países desenvolvidos. Apesar de todos os esforços realizados no sentido de orientar o desenvolvimento sustentável com equidade, preservando um equilíbrio económico, social e ambiental, os resultados não foram os esperados. Ora por metas não atingidas, ou mesmo pela sua não subscrição, como foi o caso dos EUA que não ratificaram o Protocolo de Quioto, pois a estratégia que definiram para o desenvolvimento da sua economia está muito dependente do consumo de combustíveis fósseis.

A 12 de dezembro de 2015, foi assinado o Acordo de Paris, apresentando um plano de ação destinado a limitar o aquecimento global, abrangendo o período após 2020. Os governos dos 196 países presentes acordaram em manter o aumento da temperatura média anual num valor abaixo dos 2 °C em relação aos níveis pré-industriais (período entre 1850-1900) e concentrar esforços para limitar o aumento a 1,5 °C. Embora essa fosse uma decisão controversa, os países apresentaram planos de ação nacionais abrangendo o domínio das alterações climáticas na medida da redução de emissões de gases, e concordaram em comunicar entre si num período máximo de cinco anos os seus contributos para estabelecer metas mais ambiciosas, tornando públicos os seus resultados de forma a assegurar a transparência e supervisão no processo.

²¹ Conferência da ONU sobre o Meio Ambiente (Estocolmo, 1972), parágrafo 6

Em novembro de 2018 o Parlamento Europeu decidiu aprovar em Estrasburgo, a nova Diretiva das Energias Renováveis (RED II). O novo quadro legal incluía uma meta obrigatória de 32% da energia na UE, gerada através de fontes de energia renovável, até 2030. O acordo incluía ainda uma cláusula que previa que em 2023, esta meta pudesse ser revista em alta. Verifica-se a isenção de taxas e encargos para pequenas instalações de autoconsumo (até 30 kW) e a possibilidade de as comunidades produzirem, armazenarem e venderem o excesso de produção; cada Estado-Membro terá de elaborar um Plano Nacional de Energia e Clima (PNEC) até final de 2019, o qual incluirá as metas nacionais, os contributos, as estratégias e as medidas para cada uma das cinco dimensões da União da Energia: descarbonização; eficiência energética; segurança energética; mercado interno da energia; investigação, a inovação e a competitividade.

Outra das medidas implementadas foi a estratégia Europa 2020, que representava um conjunto de metas a dez anos, com o objetivo de favorecer o crescimento económico. No âmbito desta estratégia foram também adotadas um conjunto de medidas para o ambiente e a energia que passavam essencialmente por três metas conhecidas como 20-20-20: i) redução de 20% nas emissões de gases com efeito de estufa em relação aos níveis de 1990; ii) aumento para 20% da quota de consumo de energia da UE produzida a partir de fontes renováveis; iii) melhoria de 20% na eficiência energética da UE²².

²² Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2013

Já para 2030, os dirigentes da UE chegaram a novo acordo sobre o quadro de ação relativo ao clima e à energia. O Conselho Europeu aprovou quatro metas (algumas delas revistas recentemente, como veremos posteriormente): i) uma meta da UE vinculativa de 40% de redução das emissões de gases com efeito de estufa até 2030, em comparação com os valores de 1990; ii) uma quota de pelo menos 27 % para as energias renováveis consumidas em 2030; iii) uma melhoria de 27% na eficiência energética em relação às projeções; iv) a realização do Mercado Interno da Energia, através do cumprimento de uma meta mínima de 10% das interconexões elétricas existentes até 2020, pelo menos em relação a ‘ilhas energéticas’, em especial, os Estados Bálticos e a Península Ibérica (como veremos adiante).

A UE tem, então, vindo a apostar em fontes de energia renováveis, criando condições que favoreçam o seu desenvolvimento. De acordo com (Carvalho, D, et al, 2011) os motivos para esta preocupação passam: i) pela tentativa de redução de emissões de gases com efeito de estufa, ii) pelo favorecimento da segurança energética (reduzindo as importações), iii) pelo suporte ao desenvolvimento tecnológico e iv) pela criação de emprego.

Para alcançar estes objetivos, o Conselho salientou ser necessário que as emissões mundiais de gases com efeito de estufa atinjam o seu valor máximo o mais tardar até 2020, que sofram até 2050 uma redução de pelo menos 50 % em relação a 1990, e que sejam quase zero ou estejam abaixo de zero em 2100²³.

Para atingir uma quota média aceitável para o peso das energias renováveis a nível comunitário foram estabelecidos objetivos individuais para cada Estado-membro, sumarizados na tabela 2.

²³ Acordo de Paris sobre as alterações climáticas, Consultado em: <https://www.consilium.europa.eu/pt/policies/climate-change/timeline/>

	Energia Primária		Energia Final	
	Quota (%)	Meta (%)	Quota (%)	Meta (%)
UE	13,3		17	20 - 2020 32 - 2030
Brasil	40,3		43,8	45 - 2030
China	8,4	15% - 2020 20% - 2030	12,4	
Dinamarca	30 (2016)		33	35 - 2020 100 - 2050
França	9,6 (2016)		14	23 - 2020 32 - 2030
Alemanha	12,7 (2016)		14	18 - 2020 30 - 2030 45 - 2040 60 - 2050
Grécia	12,1		17	20 - 2020
Itália	17,4 (2016)		17	17 - 2020
Islândia	89,5 (2016)		77	64 - 2020
Japão	4,8 (2016)	14% - 2030	6,3	
Holanda	4,9 (2016)		6	14 - 2020
Noruega	49,2 (2016)		58	67,5 - 2020
Espanha	14,6 (2016)		16	20,8 - 2020
Suécia	37 (2016)	100% - 2040	53	50 - 2020
Suiça	22,3 (2016)	24% - 2020	25,3	
Reino Unido	8,2		8,7	15 - 2020
Portugal	24,3 (2016)		27	31 - 2020 35 - 2030

Fonte:IRENA

Tabela 2 – Quotas e metas de energia renovável (final 2015)

Referência para o setor solar fotovoltaico, que para além dos maiores incentivos recebidos e mudanças nos custos subjacentes, tem conduzido ao aumento do investimento. De facto, tem-se assistido a uma diminuição dos preços da tecnologia solar fotovoltaica no mercado. Desde 2008, que o preço dos módulos solares fotovoltaicos está em queda e segundo a bibliografia consultada (Brazilian, M et al, 2013), são apontadas duas razões para esta forte diminuição dos preços: os avanços tecnológicos e as melhorias no processo de produção.

Espera-se ainda que a redução dos preços da tecnologia continue a abrir novos mercados. De acordo com o "Global Status Report 2014"²⁴, esta redução de preços poderá potenciar o desenvolvimento do setor PV em África, Médio Oriente, Ásia e América Latina.

²⁴ REN 2014

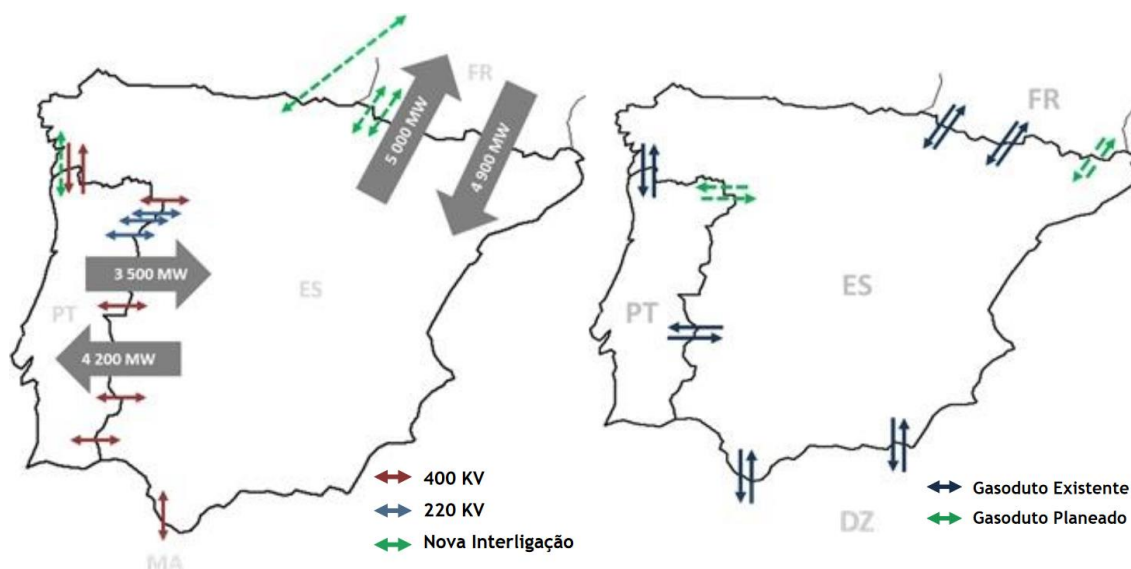
- **Península Ibérica**

Atualmente o nível de interligação entre a Península Ibérica e a França situa-se em 2,6% da capacidade total instalada e o nível de interligação entre a Portugal e Espanha situa-se em 8%²⁵. No seguimento de propostas de Portugal e Espanha, foi definido pelo Conselho de Energia uma meta de 15% em termos de interligações na eletricidade até 2030, a par do reforço da ligação entre Portugal e Marrocos.

Em fevereiro de 2015, Portugal acertou um acordo com Espanha e França, onde estabeleceu metas para a construção de estruturas de transporte de energia permitindo ao país aumentar a taxa de colocação de energia elétrica em toda a Europa. Segundo o presidente da Comissão Europeia à data, assumiu-se como objetivo um aumento da capacidade de transporte de energia, nas interligações da Península Ibérica com França de 10% até 2020 e de 15% até 2030, prevendo ligações entre Portugal e Espanha (pela Galiza) e Espanha e França (pelo Golfo da Biscaia e pelos Pirenéus). Os três países concordaram em diversificar as fontes e as rotas de abastecimento de Gás, que permitiriam reduzir a incerteza e a dependência do fornecimento do leste da Europa.

Em julho de 2018, a Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE) validou o projeto da nova interligação a 400kV Minho-Galiza, que havia sido adiado, em 2015, para ser submetido a novos estudos, bem como o eixo Vieira do Minho-Ribeira de Pena-Feira, também com o objetivo de criar capacidade de transferência de nova produção renovável na região do Alto Tâmega. Outro projeto aprovado foi a ligação Fundão – Falagueira, para reforçar a capacidade de receção de nova produção renovável (figura 2).

²⁵ PNI – Plano Nacional de Investimentos 2030



Fonte: PNI – Plano Nacional de Investimentos 2030,p26

Figura 3 - Interligações elétricas e de gás natural pretendidas na Península Ibérica

O primeiro permite aumentar a capacidade de interligação entre Portugal e Espanha, ao encontro dos objetivos definidos no âmbito do MIBEL (Mercado Ibérico de Eletricidade). São esperados entre os dois países fluxos de energia mais elevados, devido ao aumento da capacidade instalada com base em fontes intermitentes (como são os casos dos recursos solares e eólicos, por exemplo) e às trocas de mercado. O projeto faz parte do novo eixo de interligação no Norte, entre o Minho e a Galiza, ligando as subestações de *Beariz* e *Fontefría*, em Espanha, e a área do Porto, passando em Portugal pelas subestações de Ponte de Lima e de Vila Nova de Famalicão. A interligação entre Portugal e Espanha será feita por uma nova linha aérea dupla de 400 kV entre *Beariz* (ES) – *Fontefría* (ES) – Ponte de Lima (PT). O comprimento total estimado será de 18km colocados em Espanha e 72 km em Portugal.

Entre os projetos de investimento com ‘luz verde’ para avançar nos próximos cinco anos está a passagem a 400kV do eixo Falagueira-Estremoz-Divor-Pegões, identificado pela REN como essencial para dar resposta às especificidades técnicas de alimentação à rede de ferrovia entre Évora-Elvas/Caia, além de servir para alimentar outros polos de consumo.

No que diz respeito a interligações de gás natural entre Portugal e Espanha, existem duas, Campo Maior-*Badajoz* e Valença do Minho-*Tui* (Galiza). Entre Portugal e Espanha a capacidade total de importação é de 144GWh/dia e a de exportação 80GWh/dia, por meio das duas interligações.

Entre Espanha e França existem também duas interligações, *Irun* (País Basco)-*Biriatou* e na fronteira de *Larrau* (França), com capacidade de entrada e saída de 170GWh/dia.

Está também prevista a construção de um 3º gasoduto entre Portugal e Espanha que entrará em atividade em 2024. Em Portugal o gasoduto ligará Celorico da Beira, no distrito da Guarda, à fronteira entre Portugal e Espanha em Vale de Frades, no distrito de Bragança. Em Espanha, será construído um outro gasoduto de 86km de comprimento, ligando a fronteira entre Portugal e Espanha de Vale de Frades à estação de compressão de *Zamora*.

Numa segunda fase concluída apenas em 2028 prevê-se a instalação de uma estação de compressão no troço de gasoduto existente (entre as estações de Cantanhede e Mangualde, com uma potência de 12MW) e construir-se-á um segundo gasoduto com aproximadamente 67km de extensão, paralelo ao gasoduto existente. Em Espanha, a 2ª fase compreende a construção de um gasoduto de *Guitiriz-Zamora-Adradas* numa extensão total de 625km.

Esta 3ª interligação disponibilizará bidirecionalidade de fluxo de gás natural, com uma capacidade de importação de 139GWh/dia e uma capacidade de exportação de 126 GWh/dia. Referir que a construção deste terceiro gasoduto está condicionada pela construção de um outro gasoduto entre Espanha e França²⁶.

Neste contexto, importa também salientar a importância da Bacia do Atlântico. A conjugação do potencial desta bacia energética com a capacidade europeia de GNL, recebido por via marítima, poderá revelar-se decisiva na aposta europeia de diversificação das origens das fontes de abastecimento. O facto de Portugal possuir um terminal de média dimensão poderá contribuir para o apoio à diversificação energética europeia e para fazer face a eventuais ruturas temporárias no abastecimento.

²⁶ PNI – Plano Nacional de Investimentos 2030

Capítulo 2 – Quadro geral em Portugal: breve síntese

Portugal apresentou o seu primeiro plano nacional de ação em 2010, no qual se comprometeu a atingir os objetivos estabelecidos na Diretiva 28/2009/CE, referida anteriormente, nomeadamente a meta global de 31% de renováveis no consumo final bruto de energia, mas também contribuições de 60% de fontes renováveis na eletricidade, 10 % nos transportes (8% em 2016), 34 % no aquecimento e arrefecimento. O PNAER foi revisto na Resolução de Conselho de Ministros (RCM) n.º20/2013, onde se estabeleceu uma nova meta (40%) para a inserção das energias renováveis no consumo final de energia, em 2040. Previu-se também, um aumento da incorporação de biocombustíveis de 7,5% em 2018 para 10% em 2020.

Em 2008 foi também criado o Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE) para o período de 2008-2015, contemplando um conjunto de medidas de forma a alcançar, até 2015, uma melhoria da eficiência energética equivalente a 9,8% do consumo final de energia. O plano foi entretanto revisto em 2013 e a sua implementação previa uma economia energética total de 1,5mtep para o ano de 2016, correspondendo a uma economia de 8,2% face ao período de referência (média do consumo total de energia final no período 2001-2005)²⁷.

²⁷ DGEG (2016), Energia em Portugal, p11

Recentemente o Governo português apresentou o Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050, onde se destacam alguns compromissos, tais como: i) atingir a neutralidade carbónica em 2050; ii) reduzir, a partir de 2017, de 68 para 12 megatoneladas as emissões de CO₂; iii) aumentar a produção de energia elétrica a partir de fontes renováveis para 80% em 2030 e 100% em 2050; iv) reduzir a dependência energética do exterior para 65% em 2030 e 17% em 2050; v) reduzir o consumo de petróleo para 10 milhões de barris em 2050 (atualmente ultrapassa os 65 milhões); vi) reduzir o consumo de energia final em 2050 entre 22% a 25% face a 2015; vii) a descarbonização do setor dos transportes (excepto aviação e transporte marítimo)²⁸.

Considera-se, ainda, que a atual política de promoção e desenvolvimento de energias renováveis foi parcialmente sustentada pela existência de tarifas *feed-in*, que obtiveram resultados positivos quer ao nível do aumento da capacidade instalada renovável em Portugal, quer do aumento da produção de energia renovável. Contudo, atualmente as TFI têm vindo a representar um elevado custo para os consumidores. Em média, o sobrecusto com a produção de energia renovável situa-se em cerca de 1,2 mil milhões de euros anuais. A política energética volta-se agora para a promoção e desenvolvimento de novos investimentos em capacidade renovável sem onerar os consumidores, remunerada apenas a preços de mercado (sem TFI) com especial enfoque na energia solar PV. Desde 2016, o Governo já aprovou 1173MW de novas centrais solares PV, sem tarifas TFI, isto é, sem prejudicar os consumidores²⁹.

²⁸ Roteiro Para A Neutralidade Carbónica 2050

²⁹ PNI – Plano Nacional de Investimentos 2030

- **Panorama Atual**

O desenvolvimento da produção de recursos endógenos é essencial para garantir a segurança energética e para tentar contrariar a forte dependência de importação de recursos energéticos. Uma vez que Portugal não produz nem explora recursos fósseis, essa aposta recai sobre as energias renováveis. O país possui um território rico em recursos energéticos renováveis, provenientes do, Sol, vento, rios, ondas e biomassa. Existem condições favoráveis para a exploração desses mesmos recursos graças à elevada exposição solar ou à densidade da rede hidrográfica, que é, no entanto, atualmente bastante afetada por graves secas derivadas das alterações climáticas.

No âmbito do Protocolo de Quioto com vista a diminuição da emissão de gases com efeito de estufa e no âmbito das políticas estabelecidas pela União Europeia para o combate às alterações climáticas é importante e urgente para Portugal diminuir a utilização de combustíveis fósseis e aumentar o consumo de energias limpas e renováveis. Existe por isso uma forte aposta do país na construção de ‘infraestruturas renováveis’. Em Portugal, nos últimos cinco anos, a capacidade de produção de fontes de energia renováveis aumentou 25% e na energia solar triplicou³⁰.

O acréscimo do uso de fontes de energia renovável aliado a medidas de eficiência energética, têm permitido reduzir o consumo e a importação de combustíveis fósseis, o que contribui, consequentemente, para o aumento da importância das energias renováveis no consumo final de energia em Portugal.

Apesar do progresso verificado na última década, que permitiu reduzir a dependência energética nacional, Portugal mantém-se ainda muito dependente de importações de produtos energéticos. Segundo a APREN, continua a constatar-se uma evidente correlação entre a dependência energética e o regime hidrológico, e consequentemente com a quota de renováveis na produção de eletricidade. Devido à seca severa que se fez sentir em 2017, que obrigou à importação de um volume significativo de combustíveis fósseis para produção de eletricidade, a quota de energias renováveis na produção de eletricidade apenas registou 42%. Assim, o índice de dependência energética atingiu um dos valores mais elevados dos últimos anos, 79%, como demonstra o gráfico 1.

³⁰ REN21, (2018), Global Status Report

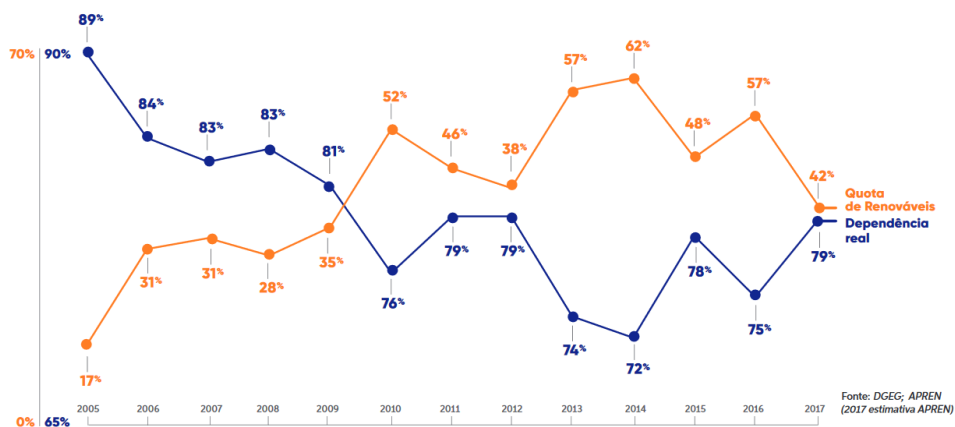


Gráfico 1 - Evolução da dependência energética e da quota de renováveis na produção Elétrica (2005-2017)

Em 2017, as centrais renováveis geraram 23,5TWh, o que equivale a 42% do total *mix* de produção elétrica de Portugal. O restante teve origem em fontes fósseis, 32,7TWh (58 % da produção – gráfico 2). Referir também que o ano ficou marcado por um saldo exportador de 2,7GWh, o segundo maior valor de sempre. Este valor apenas foi superado pelo de 2016 que se cifrou em 5,1TWh.

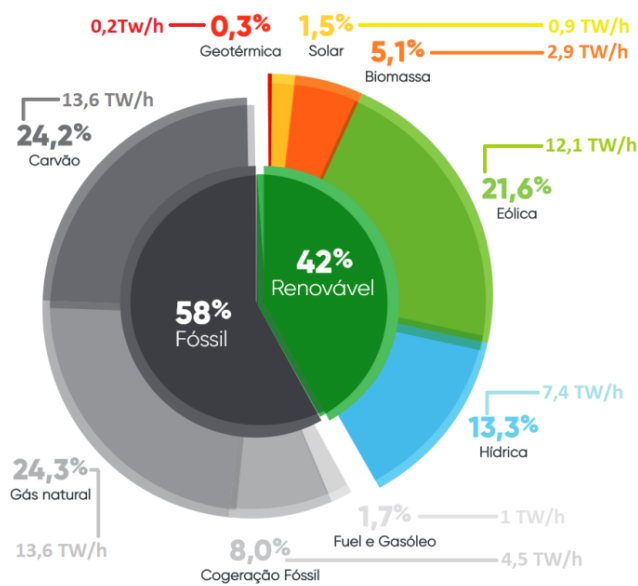


Gráfico 2 - Mix de produção elétrica em Portugal (2017)

Entre 2000 e 2017, a capacidade instalada nos centros eletroprodutores renováveis aumentou de 3,9GW para 13,5GW (gráfico 3), um crescimento médio anual que ronda os 8%. O acréscimo de potência renovável é especialmente notório entre 2004-2011 com a entrada em operação de várias centrais eólicas. Por sua vez, os acréscimos de capacidade de energia fóssil têm vindo a registar uma redução desde 2011.

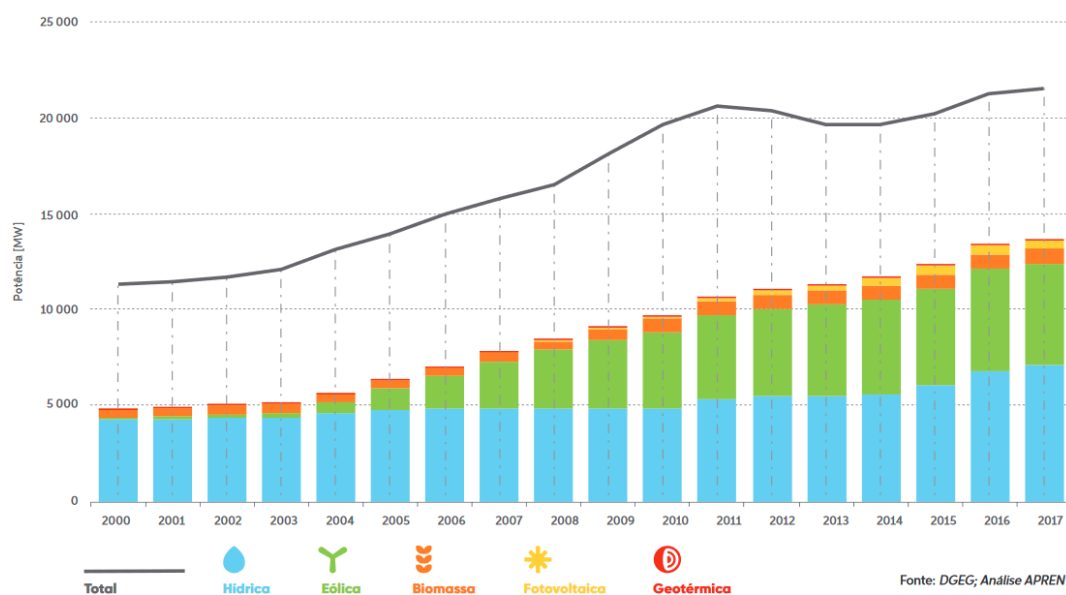


Gráfico 3 - Evolução da potência instalada do parque eletroprodutor português (2000-2017)

Em 2017 a hidroeletricidade foi responsável por 53,4% (7,1GW) da capacidade total instalada, a energia eólica por 37,9% (5,1GW), a bioenergia por 4,9% (658MW), a energia solar por 3,5% (476MW) e a energia geotérmica por 0,2% (33MW)³¹.

O ano de 2017 também se caracterizou por um valor baixo de nova potência renovável a entrar em operação. Portugal, apesar da sua reduzida superfície, demonstra poder albergar projetos em diversas áreas. Novas instalações entraram no ativo como as unidades de armazenamento reversível de 780MW Venda Nova III (Vila Real) e 263MW Foz Tua (Bragança), inauguradas nesse ano. As duas turbinas de 390MW de velocidade variável da central hidroelétrica Venda Nova III são as maiores do seu tipo na Europa. Esta é a central mais potente da Europa e a segunda a nível mundial. O gráfico 4 mostra a capacidade renovável em cada distrito do país.

³¹ Renewable Energy Agency, I. (2018)

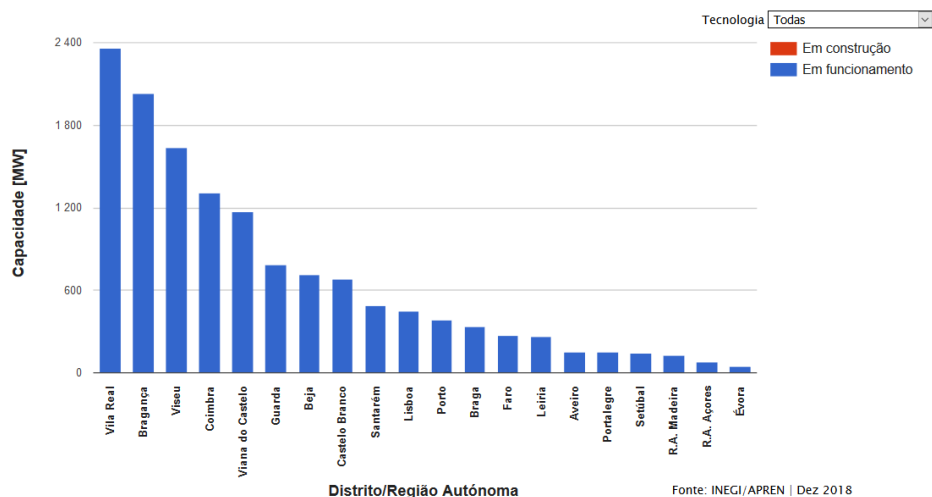
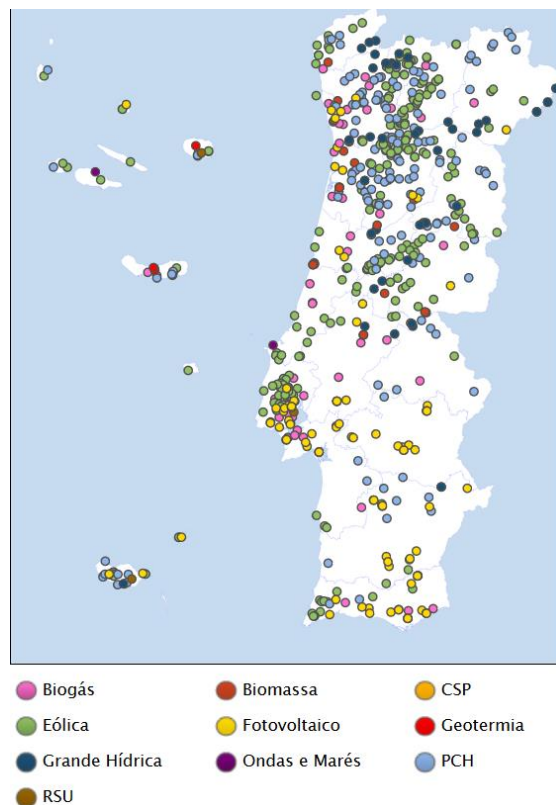


Gráfico 4 - Capacidade renovável por distrito e região autónoma

Outro exemplo é a central geotérmica de 3,5MW do Pico Alto na ilha da Terceira, concluída em 2017, que é responsável por 10% do fornecimento de eletricidade dos 56.000 habitantes da ilha.

Em 2018, três novas centrais eólicas da EDP Renováveis em Portugal iniciaram atividade. Uma destas centrais, é o projecto eólico marítimo *Windfloat*, localizada ao largo de Viana do Castelo, com uma potência instalada de 25MW dividida por três aerogeradores. Na primeira fase de testes, na Póvoa do Varzim, a turbina eólica flutuante de 2MW resistiu a ondas de 17m e a ventos de mais de 100 km/h. Outras duas centrais eólicas que entraram em operação são as de Maunça com 20MW de potência, no distrito de Leiria, e a de Vigia com 28MW, no distrito de Viseu. Estas centrais foram originalmente aprovadas em 2008.

As fontes renováveis de energia assumiram nos últimos anos um papel incontornável no *mix* energético nacional, sobretudo com o aumento progressivo de parques fotovoltaicos e eólicos e pequenas centrais hídricas (mini-hídricas) no território português. A figura 4 representa os centros eletroprodutores em Portugal (projeto e2p - Energias Endógenas de Portugal - junho 2017).



Fonte: e2p

Figura 4 - Centros eletroprodutores renováveis em Portugal (junho 2017)

- **Novos Projetos em Portugal**

Com muito potencial ainda por concretizar em Portugal, considera-se que o setor do solar fotovoltaico tem vindo a crescer ainda de forma muito lenta, colocando o país na cauda da Europa. Na verdade, Portugal beneficia do dobro da insolação de outros países, como o Reino Unido ou a Alemanha, embora estes tenham, respetivamente, cerca de 20 e 100 vezes mais potência instalada face à realidade portuguesa (476MW).

A disparidade verifica-se também ao compararmos Portugal com um país com uma realidade mais aproximada em termos de área, clima e situação económica – como o caso da Grécia – que tem atualmente 2,6GW de capacidade instalada no fotovoltaico, isto é, quase 6 vezes mais. Com efeito, a energia solar fotovoltaica garantiu apenas 1,5% da produção elétrica em Portugal em 2017. O gráfico 5 mostra a capacidade renovável em cada distrito do país.

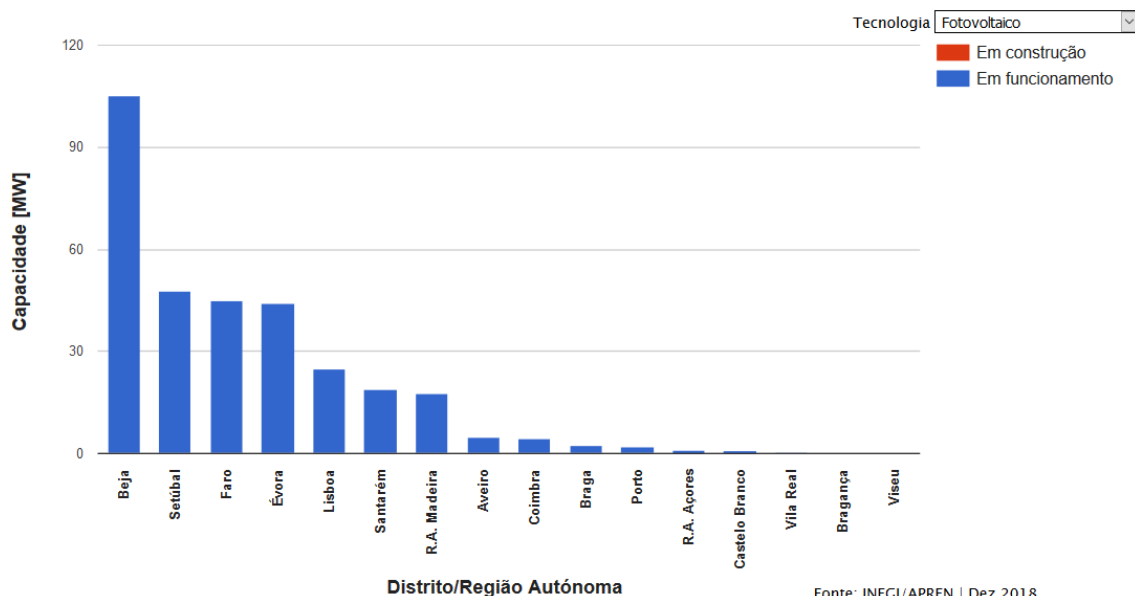


Gráfico 5 - Capacidade fotovoltaica por distrito e região autónoma

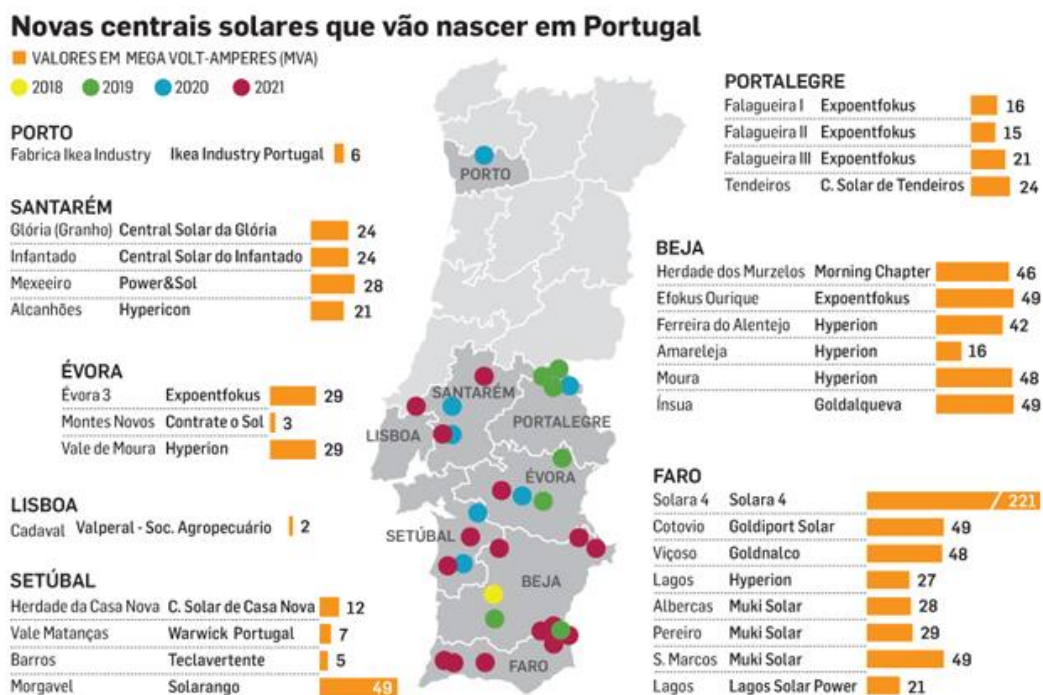
Fonte: INEGI/APREN | Dez 2018

Em junho de 2018, o Secretário de Estado da Energia à data afirmou que serão construídas em Portugal 31 novas centrais solares até 2021, 14 das quais no Alentejo e Algarve, com um total de mais de 1000MW de capacidade produtiva e que não terão custos para a população em geral³². No entanto, esta corrida ao fotovoltaico no sul do país não deve criar a ilusão de que esta será a única via de crescimento, devendo-se sempre acautelar os potenciais impactos ambientais na paisagem e na disponibilidade de área produtiva.

A REN avança também com alguns projetos que, entre outros objetivos, servirão para apoiar novas centrais solares, mas também têm outras motivações, nomeadamente a ligação a polos de consumo e a melhoria da gestão do sistema elétrico em ambiente de mercado. Trata-se da construção de linhas de muito alta tensão e uma subestação para receber, na rede elétrica, a energia que será produzida por novas centrais fotovoltaicas. O que apresenta mais encargos dos investimentos previstos é uma ligação a 400kV entre Ferreira do Alentejo, Ourique e Tavira, a construir entre 2024 e 2026.

³² Agência Regional de Energia da Alta Estremadura, Retirado de: <http://www.enerdura.pt/index.php/11-noticias/696-corrida-ao-sol-portugues-ja-vale-800-milhoes-de-euros>

Como vimos anteriormente, a REN prevê ainda a necessidade de construir uma outra linha de muito alta tensão entre Falagueira, Estremoz, Divor e Pegões e uma subestação no Divor. Estes são projetos a desenvolver entre 2019 e 2024. Na figura 5 apresentam-se alguns dos exemplos mais importantes em termos de novos projetos solares em Portugal.



fonte: PNI2030

Figura 5 - Centrais solares em Portugal previstas até 2021

Em julho de 2018, foi inaugurada perto da aldeia de Grandaços, no concelho de Ourique, a central solar *Ourika*. Em outubro a *Allianz Capital Partners*, anunciou a aquisição da central, totalmente operacional. Este projeto de 30 anos de vida útil tem uma potência instalada de 46,1MW, igualando a capacidade da histórica central da Amareleja, com uma diferença que não será um pormenor: a central de Ourique venderá a sua energia à rede sem qualquer subsídio na tarifa. Os 142 mil painéis fotovoltaicos são capazes de produzir 80GWh (por ano) de energia renovável suficiente para aproximadamente 25 mil lares por ano na região.

A EFACEC foi escolhida para a construção de duas outras centrais fotovoltaicas, uma em Santiago do Cacém, a central solar de Casa Nova com capacidade instalada de 12MW. A segunda em Castelo de Vide com potência de 24MW, que começou a ser construída em maio de 2018. O projeto é constituído por mais de 70 mil painéis solares, numa extensão de cerca de 50ha, desenvolvido na Herdade de Tendeiros foi concluído em novembro do mesmo ano.

No início de 2018 foi lançado o projeto da central fotovoltaica de Paderne, localizada na Quinta do Escarpão, na freguesia de Paderne, Albufeira. A central será constituída por uma instalação de 60 192 painéis fotovoltaicos, com uma potência de 14MW. A área de implementação do projeto é de cerca de 24,2ha. O promotor é a empresa Génese Natural, numa parceria com o grupo *Asunim* (investidor alemão). A energia produzida será vendida a preços de mercado não subsidiados e o objetivo do projeto é a produção de energia elétrica para injetar na rede pública ou para fornecimento direto às explorações industriais das pedreiras do Escarpão, situadas na proximidade. A infraestrutura a instalar é 100% removível e não implica movimentações de terra significativas.

Em março de 2018, o Governo aprovou a atribuição da licença de produção à central de Morgavel, Sines, em regime de mercado, com uma potência de cerca de 45MW.

Nome do Projeto	Promotor	Concelho	Data Autorização	Potência total instalada (MVA)
Central Fotovoltaica <i>Solara4</i>	<i>Solara4</i>	Alcoutim	21/08/2016	221
Central Fotovoltaica de Cotovio	Goldport Solar	Lagos	09/01/2018	49
Central Fotovoltaica de Lagos	Grupo Hyperion	Lagos	09/01/2018	27
Central Fotovoltaica de Viçoso	Goldnalco, Lda	Alcoutim	09/01/2018	48
Central Fotovoltaica de Albercas	Muki Solar	Alcoutim	16/04/2018	28
Central Fotovoltaica de Pereiro	Muki Solar	Alcoutim	16/04/2018	29
Central Fotovoltaica de S. Marcos	Muki Solar	Alcoutim	16/04/2018	49
Central Fotovoltaica de Lagos	Lagos Solar Power	Lagos	30/04/2018	21
Total				472

Fonte: PNI2030

Tabela 3 - Outros Exemplos de Novas Centrais Solares (valores em MVA)

Como se percebe na tabela 3, o Algarve é uma região bastante ativa no desenvolvimento do setor, estando a ser desenvolvida, em Alcoutim, a maior central fotovoltaica não subsidiada da Europa e uma das 20 maiores centrais de energia solar do mundo. A *Siemens* Portugal será responsável pela construção da subestação de alta tensão que permitirá ligar à rede nacional de transporte de energia a *SOLARA4*. Este projeto prevê a construção de uma subestação de 400kV que irá ligar a central fotovoltaica de 220MW, localizada no sul de Portugal, à Rede Nacional de Transporte e irá estar concluída em meados de 2019. A central *SOLARA4* irá estender-se por uma área de 400ha, terá uma produção anual de eletricidade de 383GWh, o equivalente ao consumo anual de uma cidade de 130 mil habitantes³³.

Em agosto de 2018, o Governo aprovou outras três novas centrais solares sem subsídios pagos, que serão promovidas pela *Escalabis Solar*, para uma capacidade instalada combinada dos três parques de 145,5MW. As centrais (de Alforgemel, Casal do Paul e Encarnado) vão localizar-se em Almoester, concelho de Santarém. Segundo o Governo, cada um destes parques vai ter 161,67 mil painéis fotovoltaicos.

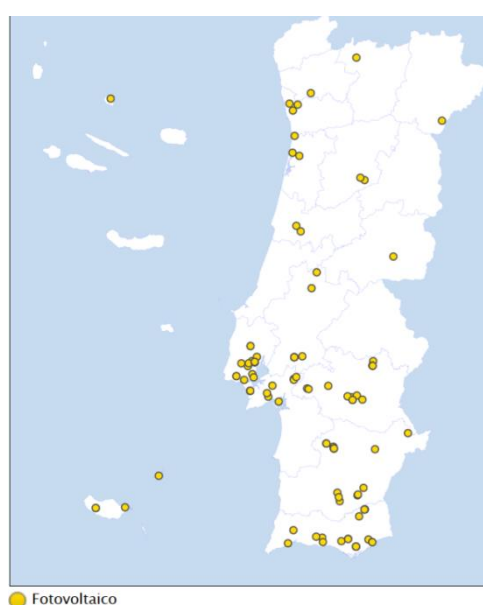
Em julho de 2018, a Câmara Municipal de Lisboa anunciou pretender que a capital tenha uma central fotovoltaica a funcionar em 2020, no aterro do Vale do Forno, para abastecer veículos elétricos (20 autocarros e 50 veículos afetos à recolha de resíduos movidos através de energia solar) e reduzir a dependência de energia fóssil na cidade. A central do Vale do Forno deverá ter uma capacidade inicial de 2MW.

Em meados de 2019 estará também operacional a Central Fotovoltaica de Vale de Moura, no concelho de Évora, que ocupará uma área de 55ha. A central terá uma capacidade total instalada de 28,8MW, com uma produção anual de energia superior a 52GWh, o equivalente ao consumo médio anual de quase dez mil habitações.

A este conjunto de projetos concretizados, juntam-se mais de 2000MW de pedidos de licenciamento em todo o país (cerca de 150 centrais) em fase de análise na Direção Geral de Geologia e Energia, refletindo, o forte interesse demonstrado por investidores nacionais e internacionais. Destacam-se dois desses pedidos: i) o da Central Solar de Selmes, localizada no concelho da Vidigueira. Na solução base

³³ AICEP (Agência do Investimento e Comércio Externo de Portugal) Retirado de: <http://www.portugalglobal.pt/PT/PortugalNews/Paginas/NewDetail.aspx?newId=%7BD02D340E-8AC0-4F1D-8F43-479B2980B04D%7D>

proposta a potência da central PV é de 19,95MW. Serão instalados 60 480 módulos fotovoltaicos. A produção anual estimada da central é de 35GWh. Espera-se que produza energia suficiente para suprir cerca de um quarto do consumo total de energia elétrica no concelho da Vidigueira (Beja); ii) e o de uma nova central solar em Montemor. Espera-se que esta central venha a ter uma potência total instalada de 8,6MW e que seja constituída por cerca de 26.880 painéis. Estima-se que esta central produza em média 15.860 MWh/ano, e que alimente, aproximadamente, 5.000 habitações. A figura 6 representa as centrais fotovoltaicas existentes em Portugal até dezembro de 2018 e na tabela 4 são indicadas as principais em termos de potência.



fonte:e2p

Figura 6 - Centrais fotovoltaicas existentes em Portugal (dezembro, 2018)

Nome	Distrito	Potência Instalada (MW)	Ano
Amareleja	Beja	45,8	2008
Avalades	Faro	14	2012
Ferreira do Alentejo	Beja	12,7	2009
Cabrela	Évora	12	2014
Canha/Alpenduradas	Setúbal	12	2014
Serpa	Beja	11	2007
Ferreira do Alentejo	Beja	10	2009
Malhada Velha 2	Beja	9	2012
Coruche 3	Santarém	8	2014
Seixal 2	Setúbal	8	2014
Seixal 3	Setúbal	8	2014
Loiral	Madeira	7,2	2012
Cançal	Madeira	6,6	2010
Porteirinhos	Beja	6,2	2010

Fonte: e2p

Tabela 4 - Principais centrais fotovoltaicas Portugal em termos de potência (a Dez 2018)

No setor solar vão surgindo novos avanços que merecem breve referência, como é o caso da energia solar flutuante. As instalações solares fotovoltaicas flutuantes têm o potencial de poder abrir novas oportunidades com intuito de aumentar a capacidade de produção solar, especialmente em países com alta densidade populacional e diferentes atividades económicas que ocupam a superfície disponível do território. A utilização da infraestrutura de rede existente para transporte de eletricidade produzida em centrais hidroelétricas e a significativa/total redução na ocupação do terreno ocupado poderão ser outras vantagens.

Depois do projeto de construção do maior parque eólico flutuante ao largo da costa de Viana do Castelo, previsto para 2019, Portugal está também apostado na inovação no campo da energia solar flutuante.

Em 2017, foi desenvolvido um projeto-piloto que conjuga energia solar PV e a energia hidroelétrica, na albufeira da Barragem do Alto Rabagão, em Pisões, Montalegre. Foram aí montados 840 painéis, sendo que o sistema tem capacidade instalada de 218 kWp e produz 300MWh por ano. Foi aproveitada a infraestrutura elétrica existente, não tendo sido necessário instalar uma nova linha de transporte de energia com o inerente impacto ambiental e custos associados (incluindo terreno pra construção)³⁴.

³⁴ AICEP (Agência do Investimento e Comércio Externo de Portugal)

Capítulo 3 – Mapeamento do potencial fotovoltaico com recurso a Sistemas de Informação Geográfica

A utilização de energia solar como fonte alternativa de produção de energia elétrica constitui uma matéria de estudo atual de elevada pertinência, visto que, atualmente, as políticas energéticas são uma das principais prioridades dos governos. Portugal, especialmente o continente, tem um enorme potencial para implementação de infraestruturas de energia renovável. É um dos países da Europa com maior número de horas de Sol e, por isso, um dos mais aptos à instalação de parques fotovoltaicos. Contudo, várias são as razões apontadas para o fraco desenvolvimento da energia solar em Portugal:

- i) Custo elevado do investimento inicial;
- ii) Barreiras técnicas e tecnológicas à inovação ao nível da indústria, da construção e da instalação de equipamentos;
- iii) Insuficiência e inadequação das medidas de incentivo.

De um modo geral, os processos de decisão pretendem satisfazer um ou vários objetivos, sendo desenvolvidos com base na avaliação de um ou vários critérios. A localização de uma central fotovoltaica é um processo de decisão de natureza multicritério, no qual são considerados diversos atributos que influenciam a avaliação e selecção de áreas aptas, entre várias alternativas possíveis. Essa localização pode ser calculada recorrendo aos SIG.

Os SIG permitem trabalhar a informação proveniente de diversas fontes, como informação de sensores espaciais, informação recolhida com *GPS* ou obtida com os métodos tradicionais da topografia. Essa informação pode ter utilidade em diversas áreas, pois o seu potencial é muito vasto. Mas as suas principais aplicações são em atividades com componente espacial, tratando-se de uma ferramenta poderosa para a resolução de um vasto leque de problemas. A construção de infraestruturas é bastante dispendiosa e para rentabilizar os custos, os SIG são uma poderosa ferramenta de trabalho, como por exemplo na obtenção, tratamento e análise da informação espacial georreferenciada. O projeto *e2p* é um bom exemplo. Surgiu da colaboração entre a APREN e o INEGI para o desenvolvimento de uma base de dados *online* com todos os Centros Eletroprodutores (CEP's) com base em fontes renováveis de energia existentes

em Portugal, apresentando as suas principais características técnicas e a sua localização geográfica.

- **Enquadramento**

Nesta componente da dissertação pretende-se aferir para três distritos-alvo, áreas de elevado potencial fotovoltaico, tendo como objetivo estudar, dentro dessas áreas, a sua possível aptidão para receber uma central solar fotovoltaica, tendo em conta vários aspetos como sombreamento, declive do terreno, proximidade a zonas protegidas, entre outros. Os distritos escolhidos foram Faro, Beja e Castelo Branco.

Os dados necessários para a realização do estudo devem incluir informação sobre a radiação solar, mapa de uso/ocupação do solo, mapa de condicionantes físicas e mapa de condicionantes ambientais, a localização da rede elétrica, rede viária, linhas/corpos de água e aglomerados urbanos e/ou populacionais. Para maximizar os ganhos de energia, as estruturas a implementar têm que estar situadas em áreas de maior rendimento, neste caso, solar, e é graças aos SIG que se determinam as melhores localizações. Para que essas zonas ofereçam condições mínimas para a construção de centrais fotovoltaicas, é aconselhado que sigam um conjunto de requisitos de viabilidade técnica e económica. Nesta secção recorreu-se ao projeto da Herdade de Espirra, onde existem consumos de energia de alguma dimensão associados a viveiros de plantas, para além de um centro de investigação, distinguindo-se aqui a energia necessária aos equipamentos e laboratórios e a energia associada à significativa atividade e presença humana. Esta central não se enquadra na produção independente de energia elétrica para venda, para a qual não requereu o licenciamento, mas sim na produção de energia elétrica para auto-consumo, uma vez verificada a existência de condições que suportaram e justificaram a sua viabilidade técnico-económica:

- i) Zonas com elevada incidência de radiação solar;
- ii) Maior área disponível para implementação;
- iii) Construção em zonas sem sombras;
- iv) Construção em zonas relativamente planas, evitando custos de intervenção no terreno (declives <4%);
- v) Afastado de aglomerados populacionais;
- vi) Limitado a zonas não protegidas;
- vii) Limitado a zonas sem elementos hidrográficos;

Tendo estas condições em consideração, dá-se prioridade às áreas mais próximas da rede viária e dos pontos de ligação à rede elétrica existente (neste caso foi apenas utilizada a rede de muito alta tensão por impossibilidade de aquisição das restantes).

Metodologia

O primeiro passo consistiu na estruturação de informação geográfica, em formato de dados *shapefile*:

- i) Carta Administrativa Oficial de Portugal (CAOP);
- ii) Rede Viária de Portugal;
- iii) Linhas de água e outros elementos hidrográficos;
- iv) Rede Elétrica Nacional;
- v) Modelo Digital de Terreno (MDT);
- vi) Declives, calculados a partir do mapa de elevação;
- vii) Carta de Ocupação do Solo (COS);
- viii) Mapa das Áreas Protegidas;

Todos os dados foram convertidos para o Sistema de Coordenadas PT-TM06/ETRS89 por ser o utilizado atualmente em Portugal. Na figura 7 é esquematizado de forma geral o procedimento seguido na deteção das áreas finais.

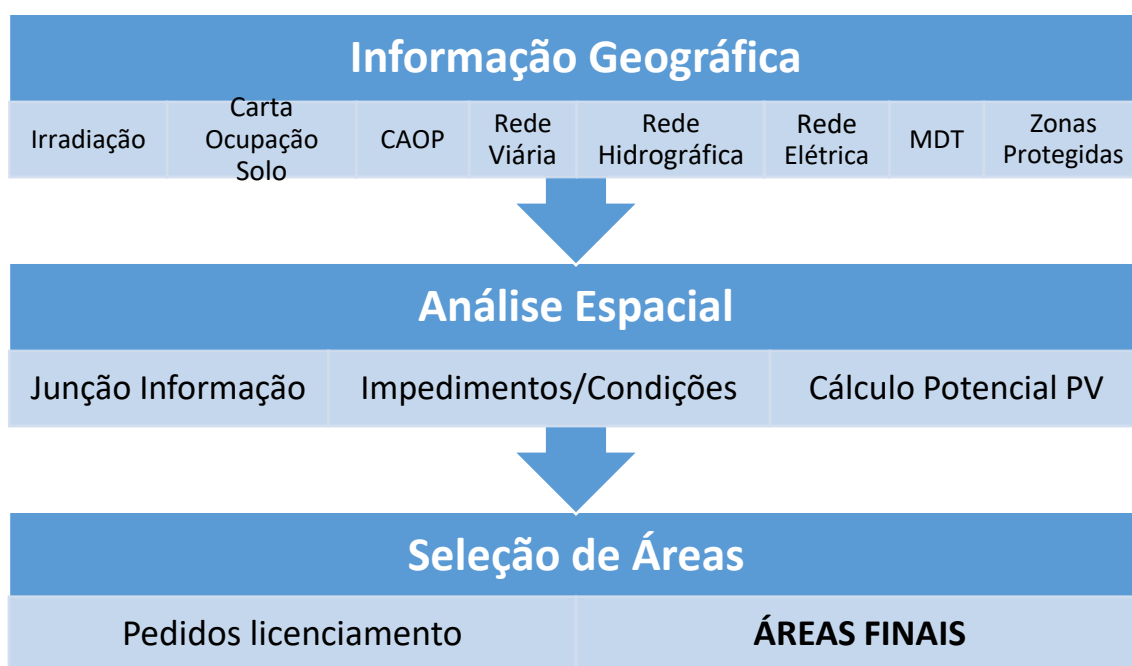


Figura 7 – Fluxograma geral de procedimentos

Foram selecionados os distritos de Faro, Beja e Castelo Branco devido ao tempo de execução do modelo solar em *ArcGis*, tempo de execução esse que condicionou a análise da totalidade do território de Portugal continental. Começou-se pela análise do distrito de Beja, seguido de Faro e Castelo Branco. Esta ordem justifica-se pelo facto de Beja ter sido o território selecionado para teste aos dados e à metodologia. Para isso

foi necessário extrair toda a informação geográfica do distrito usando a ferramenta *clip*. O processo repetiu-se para os restantes elementos como mostra a figura 8.

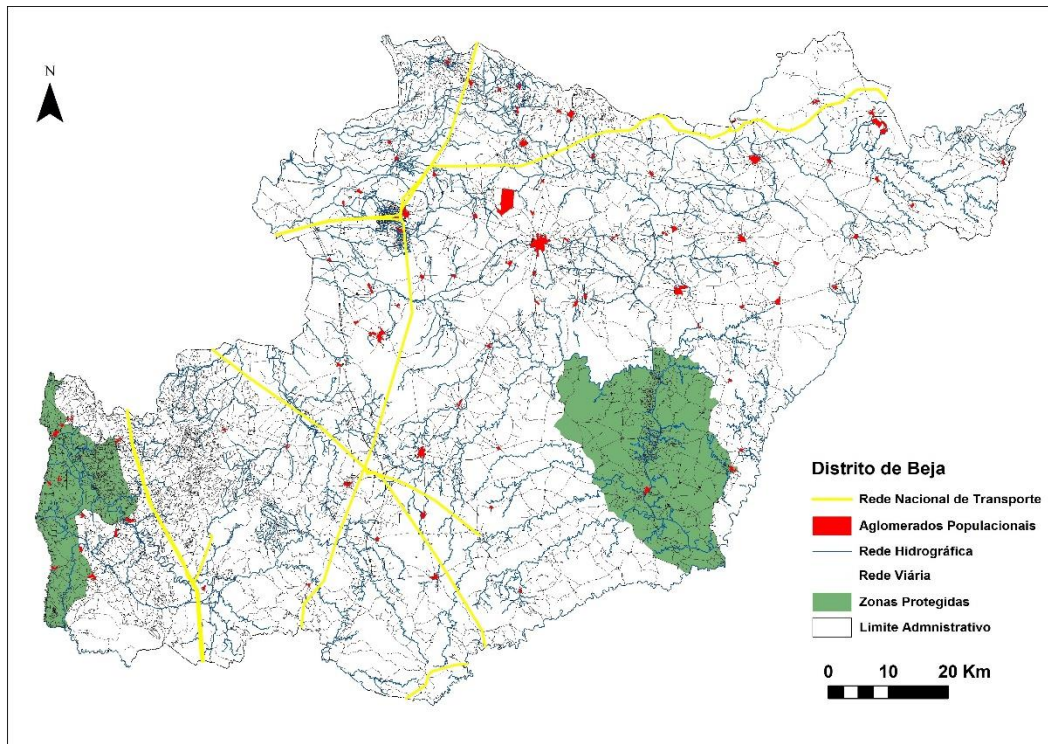


Figura 8 – Recorte do distrito de Beja e seus elementos

O MDT é o ponto de partida para a execução dos mapas e para a análise espacial, métodos específicos dos SIG, úteis na resolução de vários problemas teóricos e práticos de vários domínios.

Para o cálculo dos declives, *ArcGis* disponibiliza a ferramenta *slope*, própria para o efeito. Embora não haja literatura abundante sobre o limite numérico a considerar, a maioria dos projetos consultados, como os Estudos de Incidências Ambientais das centrais fotovoltaicas Salgueirinha, Sousel, Mogadouro e Vidigueira, apresenta valores máximos de 5-6%.

A função *raster calculator* foi utilizada para calcular áreas com declives inferiores a 4%, extraíndo o resultado ignorando o restante, como mostra a figura 9.

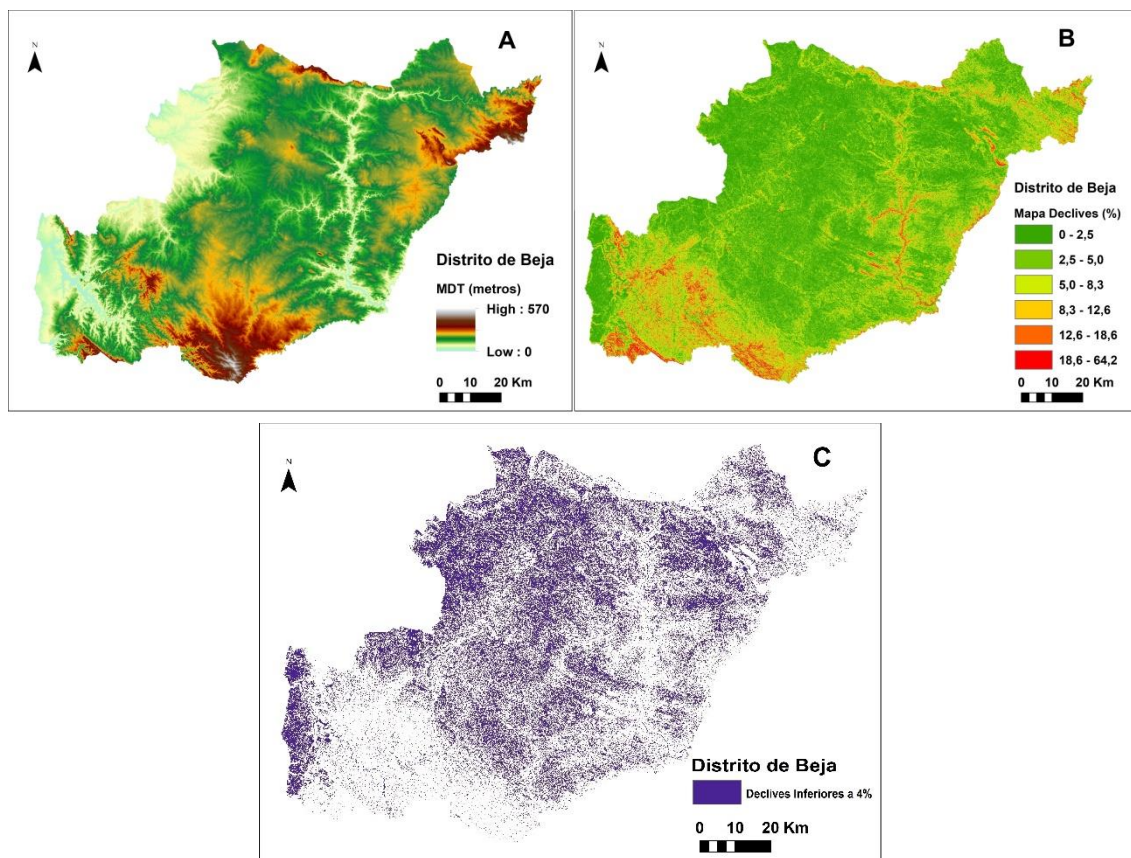


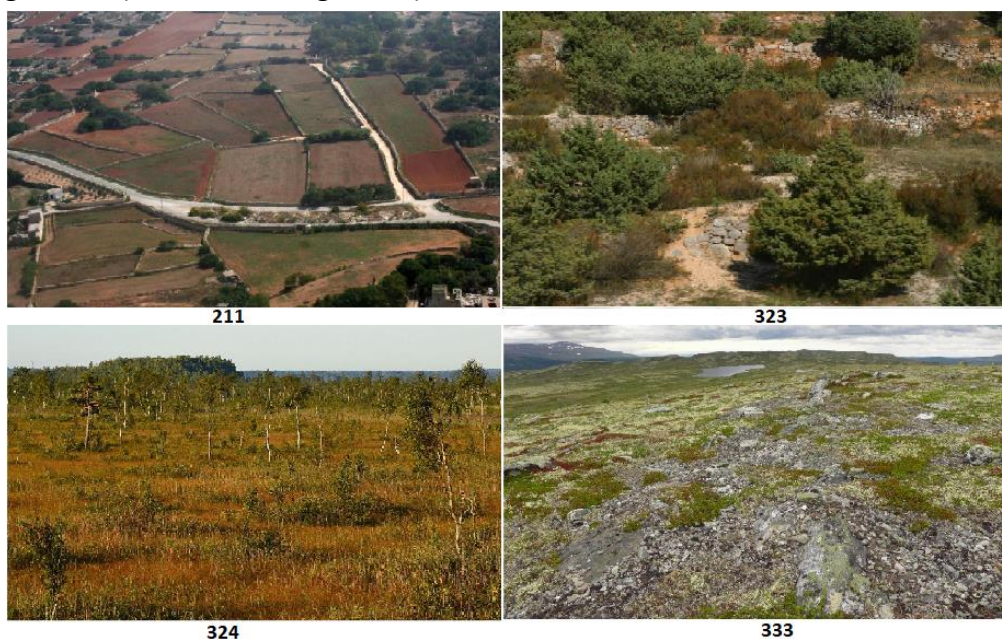
Figura 9 - MDT (A), mapa declives (B) e mapa declives inferiores 4% (C), distrito de Beja

De maneira a obter as zonas correspondentes a aglomerados populacionais, recorreu-se à nomenclatura normalmente utilizada³⁵ na Carta de Ocupação do Solo. Foram extraídos (*extract*) os elementos que envolvem todo o tipo de ‘tecido’ urbano, no caso, *Continuous Urban Fabric* (código 111), *Discontinuous Urban Fabric* (112), *Industrial or Commercial Units* (121), *Airports* (124) e *Sport and Leisure Facilities* (142) sendo depois usada a ferramenta *dissolve* para criar continuidade entre os polígonos resultantes da operação SQL.

Para implementação de projectos fotovoltaicos são requeridas, de preferência, áreas desocupadas, sem aproveitamento, com pouca ou nenhuma vegetação, de maneira a garantir o máximo rendimento por área e evitar sombreamentos ou custos de gestão florestal. O processo utilizado na obtenção dos aglomerados populacionais foi então usado, mas para detetar áreas desocupadas/não aproveitadas, neste caso, *Non-Irrigated Arable Land* (código 211), *Sclerophyllous Vegetation* (323), *Transitional Woodland-Shrub* (324) e *Sparsely Vegetated Areas* (333) – figura 10.

³⁵ COS (2007), DGT

Intersectando (*intersect*) essas zonas com o resultado da operação efetuada nos declives, obtiveram-se as áreas aptas à construção de uma infra-estrutura afeta à energia solar ('áreas sim' – figura 11).



Fonte: European Environment Agency

Figura 10 - Exemplos de áreas desocupadas

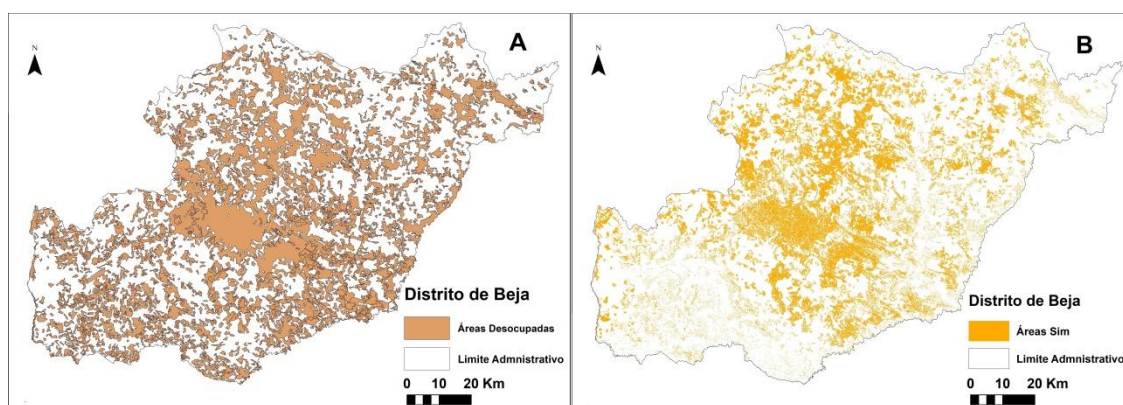


Figura 11 – Áreas desocupadas (A) e 'áreas sim' (B), distrito de Beja

Para o caso de uma dessas áreas se encontrar muito perto de elementos condicionantes, como rios, estradas, aglomerados populacionais ou zonas protegidas, a ferramenta *buffer* permite criar uma área de dimensão à escolha do utilizador em redor dos elementos condicionantes.

Seguindo algumas das diretrizes apresentadas em alguns Estudos de Incidências Ambientais de centrais solares (referidos acima), em conjunto com o catálogo de Servidões e Restrições de Utilidade Pública, para a rede hidrográfica foi escolhida uma distância de 500m (tendo aqui em conta períodos de cheias, já que a rede hidrográfica

está compilada em apenas uma *shapefile*), para os aglomerados e reservas naturais optou-se por 1Km e para a rede viária apenas 20m (tratando-se de um elemento apenas representado por uma linha). Fundindo (*merge*) estas condicionantes ou *buffers* obtiveram-se as áreas inaptas à construção da infra-estrutura ('áreas não' – figura 12). Referira-se que no início do processo se escolheu um *buffer* de 3Km para os aglomerados populacionais, mas essa distância foi diminuída para 1Km de maneira a haver um leque mais alargado de resultados no fim do estudo.

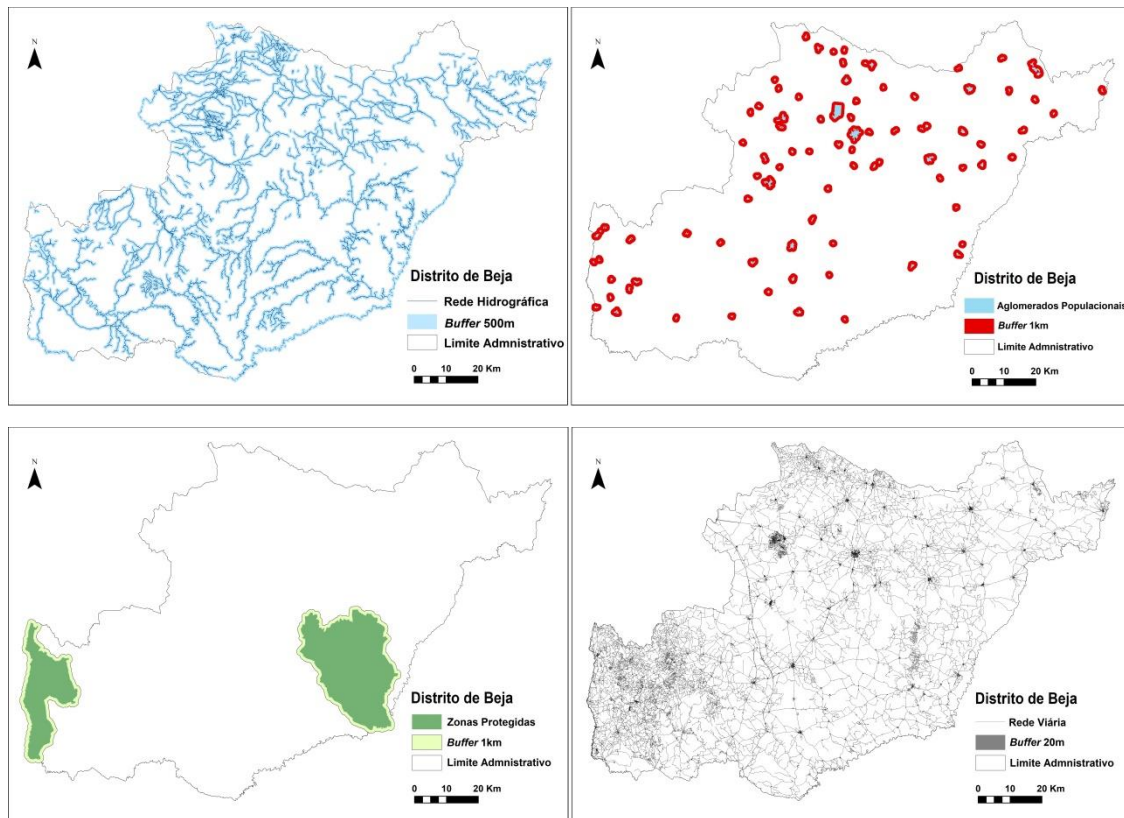


Figura 12 – 'Áreas não' individualizadas (antes merge), distrito de Beja

No passo seguinte intercetaram-se as 'áreas sim' com as 'áreas não', eliminando (*erase*) as áreas onde poderia haver um conflito com as condicionantes referidas anteriormente. As áreas que permaneceram correspondem às áreas potenciais para a localização de painéis fotovoltaicos (figura 13). Tendo agora as verdadeiras zonas disponíveis para implementar uma central fotovoltaica, falta juntar o elemento principal, a radiação solar.

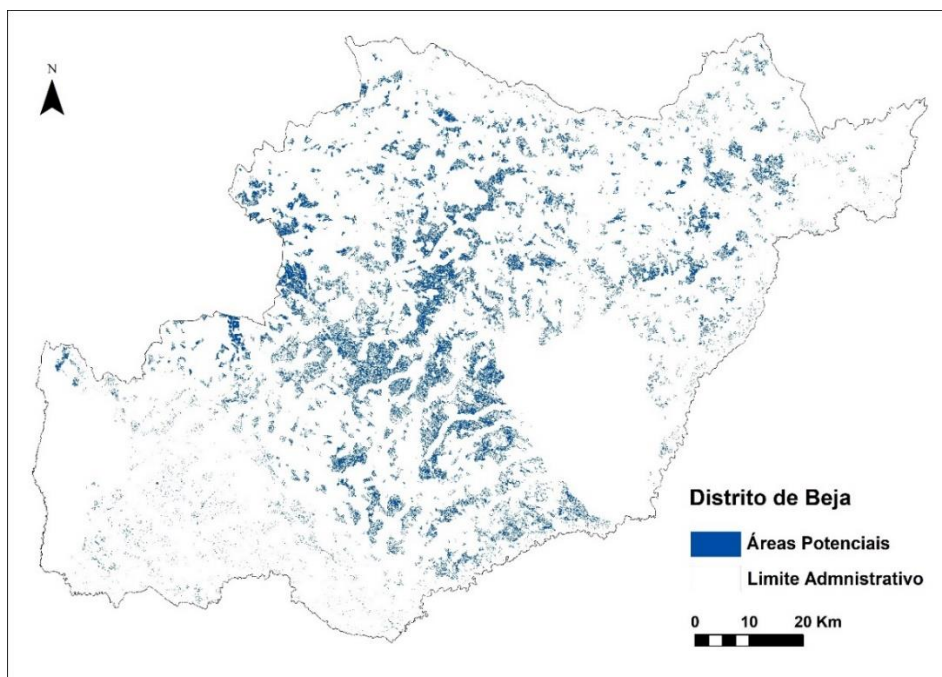


Figura 13 - Áreas potenciais, distrito de Beja

O software *ArcGis* permite a análise da radiação solar segundo dois métodos:

- i) *Area Solar Radiation* - usado para calcular a irradiação para toda uma área. O cálculo é repetido para cada local da superfície designada;
- ii) *Point Solar Radiation* - utilizado para o cálculo da irradiação num determinado local (pontos).

Foi escolhida a ferramenta *area solar radiation* que calcula, usando o Modelo Digital de Terreno, a irradiação solar por cada unidade de área. O resultado do processo é apresentado em Wh/m^2 . O cálculo exige a configuração de parâmetros conforme a figura 14.

Um desses parâmetros é o *skysize*, que define a resolução dos mapas solares usados no cálculo da radiação, funcionando como uma espécie de quadriculado ou grelha no céu, tendo assim as células como unidade. Aumentar o *skysize* permite uma maior precisão de cálculo, porém o tempo de cálculo aumenta consideravelmente. Regra geral, tornar o valor do *skysize* maior, destina-se a intervalos curtos de tempo (<14 dias). Contudo alguns autores, (T. Mounika, R. Anguluri, 2017), apontam 512 como valor mais indicado para áreas extensas. O valor predefinido é 200, o considerado suficiente para o cálculo pretendido.

As direções de cálculo são também um parâmetro importante pois estabelecem o número de direções azimutais usadas no *viewshed* (representação gráfica do céu que

se encontra desobstruído). O número de direções de cálculo necessárias está relacionado com a resolução do MDT de entrada. Normalmente, um valor de 8 ou 16 é adequado para áreas com topografia suave, enquanto um valor de 32 é adequado para topografia complexa, sendo o utilizado no método. Valores superiores destinam-se a zonas urbanas. Tal como o *skysize*, ao aumentar o número de direções, o processo torna-se mais moroso³⁶.

O período de tempo utilizado nos cálculos foi *multiple days in a year*, optando-se por uma análise mensal do distrito para 2017 (ano utilizado nos dados estatísticos do Capítulo 1), calculando então cada mês do ano separadamente. Esta opção prendeu-se também com o desempenho do computador utilizado no estudo por ser menos morosa para cada cálculo.

Relativamente aos parâmetros topográficos e de radiação, segundo a literatura consultada aquando do estudo do *skysize*, são predefinidos por defeito; ou seja, são os otimizados pelo *software* não se tendo procedido a alterações (figura 14).

Figura 14 - Quadro de configurações da ferramenta de análise solar

Contudo, admite-se que teria sido importante considerar a realização de vários testes para apurar a melhor combinação de parâmetros.

³⁶ ESRI, *An Overview of the Solar Radiation Tools*

Tendo então a irradiação média para cada mês de 2017, a ferramenta *mean* (média), permite obter a média da irradiação anual do distrito (dividida em cinco classes – figura 15).

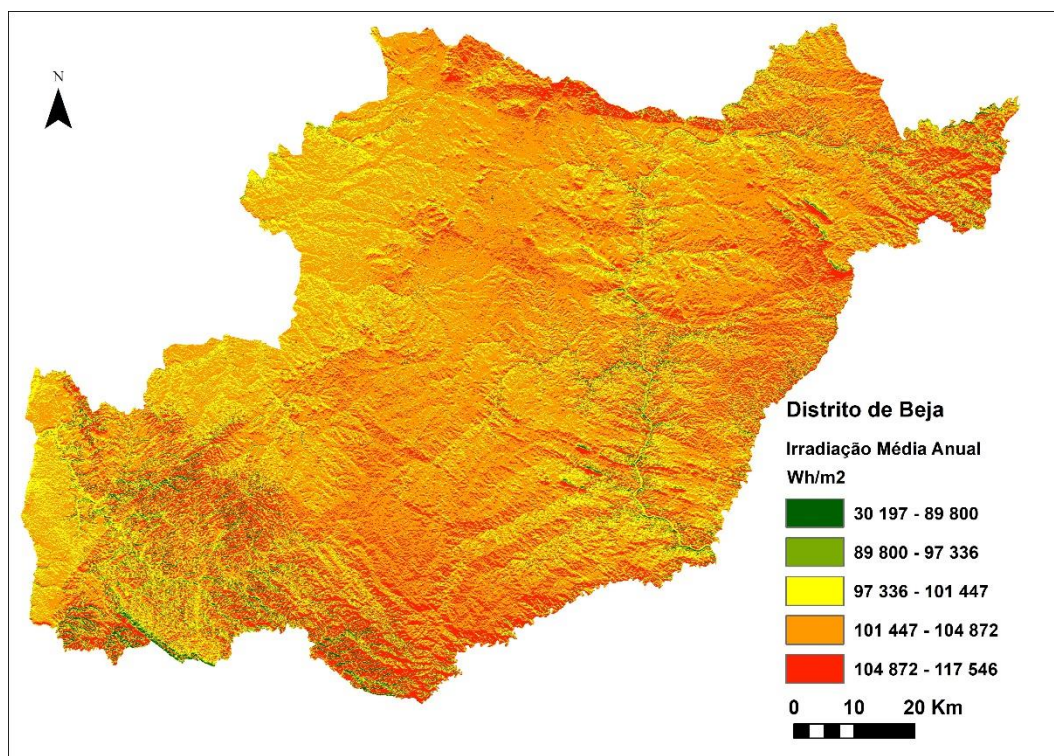


Figura 15 - Média da irradiação anual, distrito de Beja 2017

Para calcular as áreas de maior potencial fotovoltaico voltou-se a recorrer ao *raster calculator*, selecionando as zonas com a classe (das cinco) de irradiação mais alta, extraíndo-se o resultado e eliminando o restante.

Contudo a opção de escolha da classe mais elevada de irradiação, não se demonstrou eficaz, já que as áreas calculadas eram relativamente pequenas, na ordem dos 4-6ha. Assim, fez-se nova análise aos valores de irradiação, desta vez escolhendo um intervalo um pouco mais alargado - valores acima da média calculada (*mean*, arredondando às unidades para cima – 103kWh/m²) - em vez da última amostra, de cinco classes. O resultado é apresentado na figura 17.

Os restantes distritos possuem médias similares entre 101 e 103kWh/m², tendo sido essas as adotadas.

	30 197,10352 - 89 799,96523
	89 799,96523 - 97 335,95924
	97 335,95924 - 101 446,5014
	101 446,5014 - 104 871,9533
	104 871,9533 - 117 546,125
Count:	11395974
Minimum:	30 197,10352
Maximum:	117 546,125
Sum:	1 166 572 229 000
Mean:	102 367,049
Standard Deviation:	3 529,159316

Figura 16 - Dados estatísticos, distrito de Beja

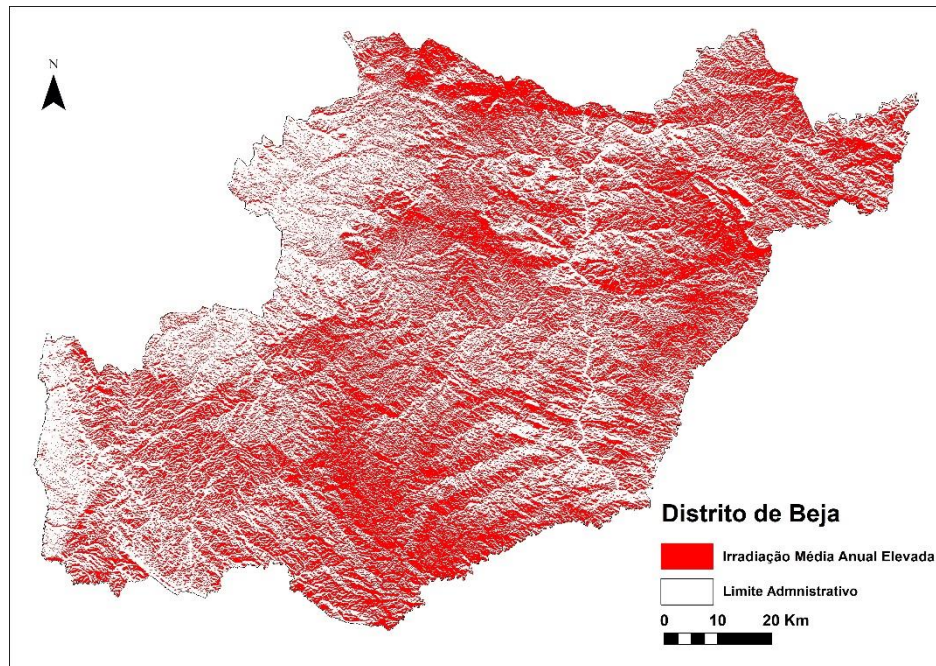


Figura 17 - Irradiação mais elevada após nova classificação, distrito de Beja 2017

Realizando agora uma interseção (*intersect*) entre as ‘áreas potenciais’ e as áreas de maior irradiação obtemos as ‘áreas finais’. Ao adicionar uma nova coluna à tabela de atributos, é possível calcular a geometria (área) de cada polígono. Daí poderemos também obter outro tipo de informação pertinente, como a totalidade de área disponível em cada distrito. Para este cálculo recorreu-se à ferramenta *statistics*.

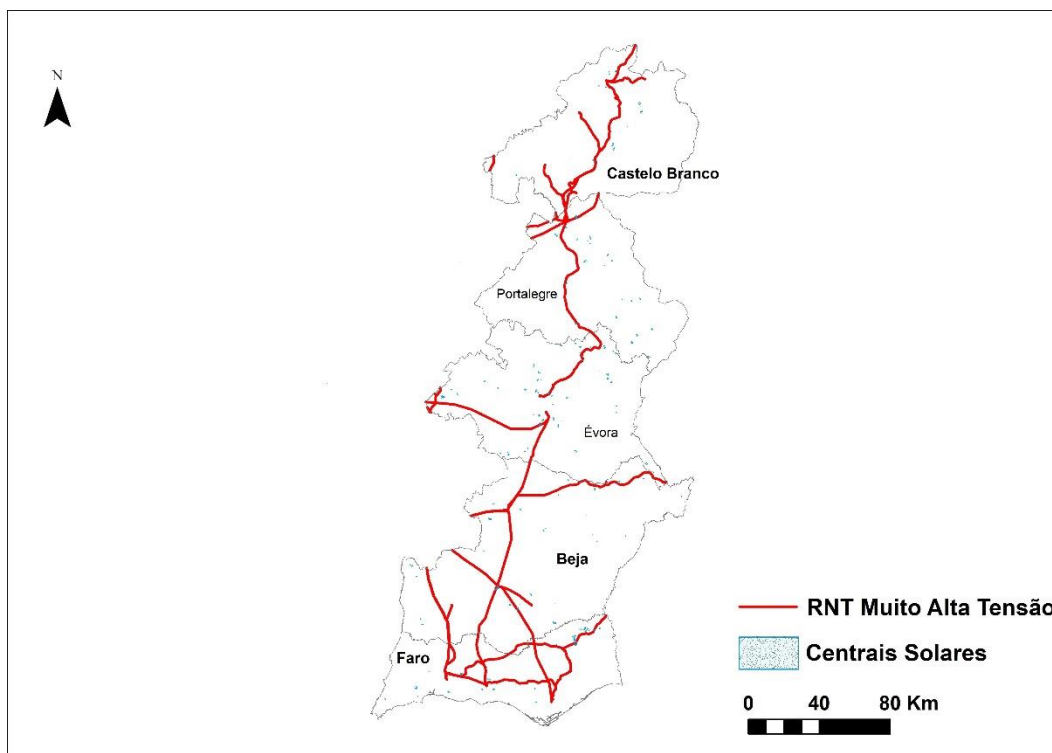


Figura 18 – Pedidos de licenciamento para centrais solares e RNT

Para um estudo mais aprofundado de cada zona escolhida isolaram-se as áreas em questão. A partir daí é possível analisar por exemplo a irradiação recebida, o *hillshade* (ver nota 2 abaixo) e centrais solares existentes/em projeto nas proximidades³⁷. A análise da irradiação recebida por cada zona é feita recorrendo à ferramenta *zonal statistics as table*, que, permite relacionar duas camadas (incluindo *rasters*). Assim, podemos averiguar, numa tabela, a relação entre as zonas escolhidas e a média da irradiação no distrito onde a zona se insere.

Elementos considerados menos importantes para este estudo, como a distância para a rede viária, necessária para a manutenção da futura central, a altitude do terreno escolhido, a exposição do terreno - Portugal está situado no hemisfério Norte, a exposição dominante ideal é para Sul (Greenpro, 2004) - ou a distância a pontos de ligação da rede elétrica (Figura 19 e tabelas 5 e 6) são também analisados.

O processo foi repetido para os distritos de Faro e Castelo Branco, como referido anteriormente.

³⁷ serviço WMS fornecido por agserver.sg.min-economia.pt

Nome da Instalação (Subestações)	Ano Entrada em Serviço	Níveis Tensão (kV)	Potência Instalada (MVA)
Alqueva	2007	400/60	170
Alto de Mira	1963	400/220/60	1030
Batalha	1973	400/220/60	536
Bodiosa	2006	220/60	252
Canelas	1981	220/60	486
Carrapatelo	2008	220/60	170
Carregado	1967	220/60	360
Carriche	1983	220/60	410
Carvoeira	2008	220/60	170
Castelo Branco	2007	220/150/60	313
Chafariz	1997	220/60	126
Chaves	1996	150/60	63
Custóias	1993	220/60	422
Ermesinde	1951	150/60	352
Estarreja	1968	220/60	548
Estói	1992	150/60	378
Évora	1986	150/60	189
Falagueira	1992	400/150/60	826
Fanhões	1986	400/200/150/60	1366
Fernão Ferro	1980	150/60	378
Ferreira do Alentejo	1963	400/150/60	413
Ferro	2001	220/60	126
Frades	2008	150/60	170
Guimarães	1977	150/60	126
Lavos	2002	400/60	340
Macedo de Cavaleiros	2008	220/60	126
Mogadouro	1993	220/60	63
Mogofores	1979	220/60	126
Mourisca	1983	220/60	416
Oleiros	1996	150/60	422
Palmela	1979	400/150	1350
Paraimo	2006	220/60	620
Pedralva	2007	400/150	900
Penela	2007	220/60	170
Pereiros	1957	220/150/60	429
Pocinho	1974	220/60	90
Pombal	1983	220/60	126
Portimão	2006	150/60	340
Porto Alto	1961	150/60	126
Recarei	1990	400/220/60	1026
Régua	1973	220/60	75
Riba d'Ave	1984	400/150/60	1476
Rio Maior	1979	400/220/60	1152

Nome da Instalação	Ano Entrada em Serviço	Níveis Tensão (kV)	Potência Instalada (MVA)
Ruivães	1982	150/130	150
Santarém	2002	220/60	252
Sete Rios	1999	220/60	510
Setúbal	1952	150/60	432
Sines	1978	400/150/60	960
Torrão	1988	220/60	296
Trafaria	2007	150/60	340
Trajouce	1990	220/60	510
Tunes	1973	150/60	315
Valdigem	1976	220/60	252
Vermoim	1959	220/150/60	1090
Vila Chã	1961	220/60	378
Vila Fria	1987	150/60	422
Vila Pouca de Aguiar	2008	220/60	120
Zêzere	1951	150/60	460
Total			26194

Tabela 6 - Subestações RNT Portugal Continental

Nome da Instalação (Postos de Corte e Seccionamento)	Ano Entrada em Serviço	Níveis Tensão (kV)
Alto Lindoso	1992	400
Carrapatelo	1969	220
Ermidas Sado	2002	150
Monte da Pedra	2002	150
Ourique	1990	150
Pego	1992	400
Pedralva	2007	150
Pontinha	2004	220
Prior Velho	1996	220 e 150
Ribatejo	2004	400
Sabóia	2003	150
Urrô	2002	220

Tabela 5 - Postos de corte e seccionamento da RNT

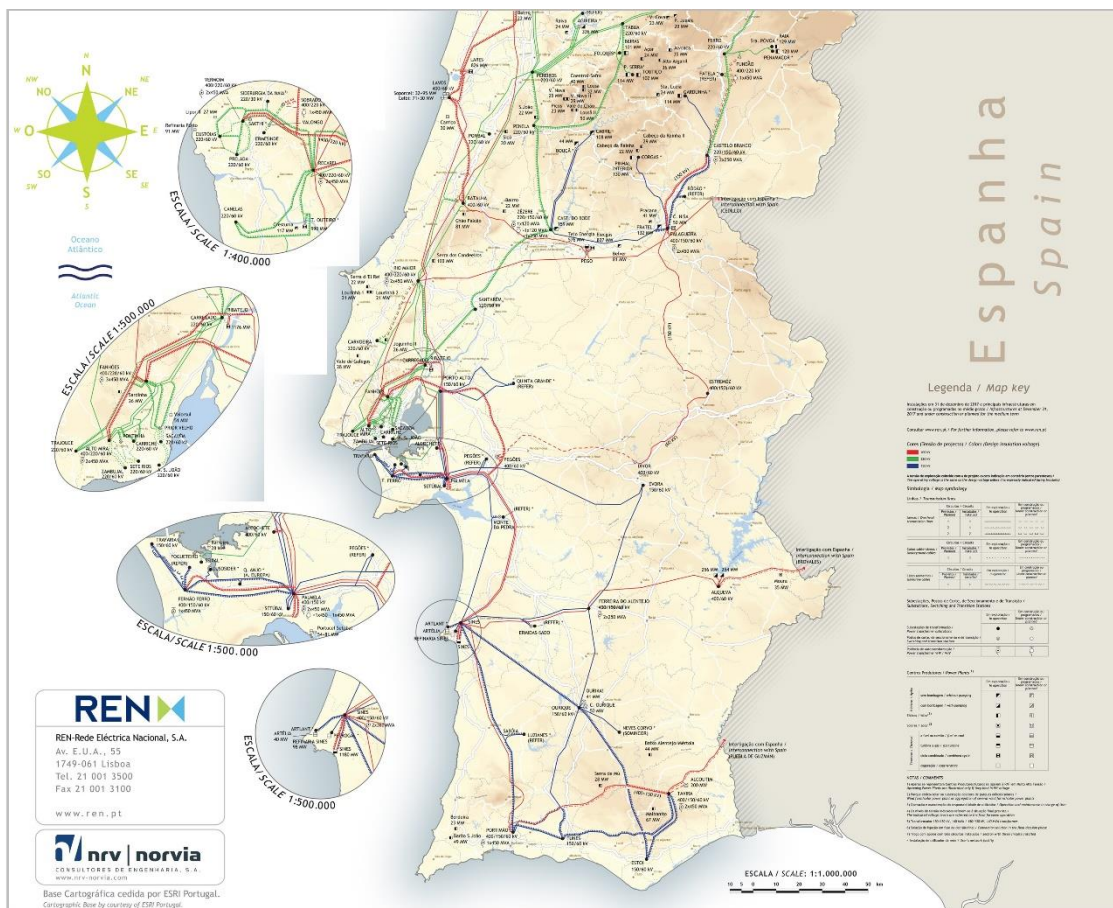


Figura 19 - Mapa RNT zona de estudo

Considerando o anteriormente analisado, há que ter em conta as seguintes anotações:

i) Aquando do último cálculo, da interseção das áreas de maior irradiação e das 'áreas sim', no resultado surgiram polígonos dentro de outros polígonos, afetando o cálculo da área. Para resolver esta situação procedeu-se á união de todos os polígonos (*dissolve*), seguido da ferramenta *multipart*, que torna a separar os polígonos que não se intersectam.

ii) O *hillshade* é uma ferramenta de análise que realiza um cálculo de sombras numa certa região a partir do MDT. Considera o ângulo de elevação da fonte de iluminação e as sombras das montanhas. O resultado é uma gama de valores de 0 a 255, sendo que valores próximos de 0 representam as zonas sombreadas e valores mais elevados representam locais com poucas ou nenhuma zonas sombreadas. Na impossibilidade de incluir este critério aquando do cálculo das 'áreas sim' (por ser uma ferramenta de análise, não é considerado um *Input* na ferramenta *intersect*), foi feita uma análise visual e numérica às zonas escolhidas, recorrendo à ferramenta de informação. Esta permite aferir o valor de *hillshade* em qualquer ponto, neste caso em redor da área escolhida, mas também no seu interior (figura 20). Este método foi também usado para averiguar a inclinação do terreno, com recurso ao MDT.

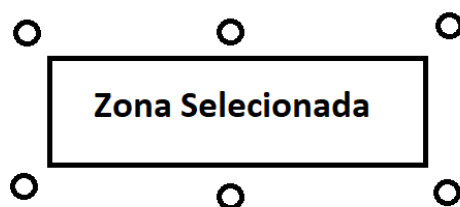


Figura 20 - método de análise MDT e hillshade 'áreas finais'

- **Resultados**

Beja

Tendo então as áreas finais calculadas (figura 21) analisaram-se as que tinham maior área, visto ser o requisito mais importante que faltava analisar. Ora, no distrito de Beja, a maior área disponível e que respeita os critérios escolhidos, localiza-se no concelho de Almodôvar e tem 170,8ha. Este distrito apresenta um total de 42629,01ha de área 'livre'.

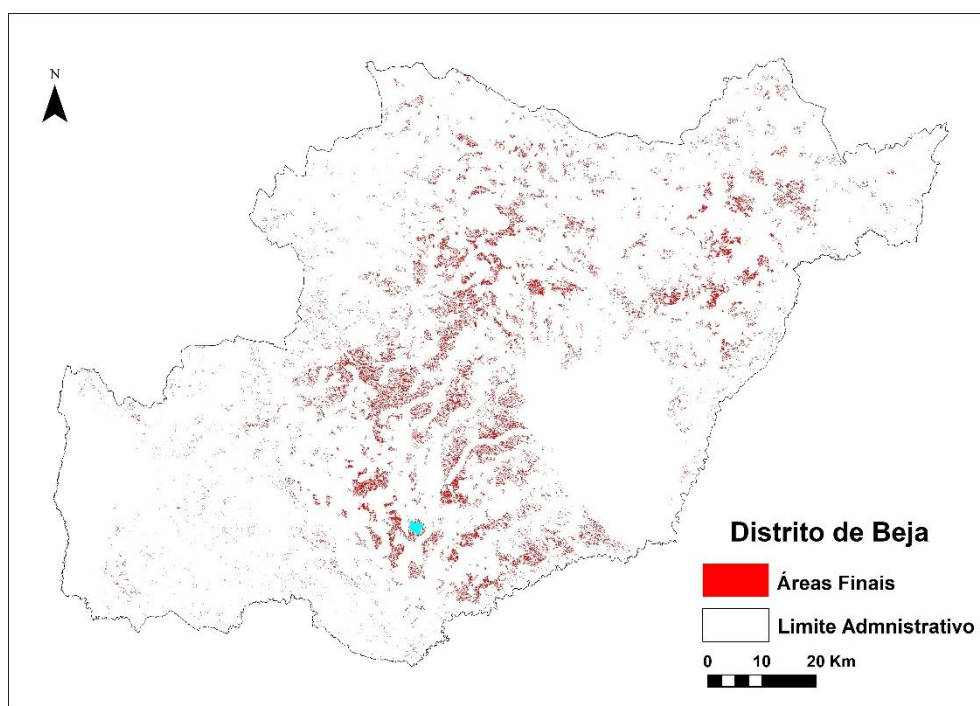


Figura 21 - Áreas finais, distrito de Beja

Após a identificação da zona, introduziram-se neste passo, imagens de satélite *Sentinel-2* (retiradas da plataforma *GloVis*) para melhor análise das áreas.

A primeira área escolhida situa-se sensivelmente 3km a Norte da vila de Almodôvar (figura 23). Segundo o MDT verificou-se que a zona se situava a uma altitude de cerca de 280m.

Apesar de ser uma zona bastante perto de uma estrada e de haver possibilidade de ligação a rede elétrica relativamente perto (figura 19), como se pode perceber já existe uma central fotovoltaica no mesmo local, contudo a imagem de satélite não oferece informação de que haja alguma. Recorrendo à ferramenta de Informação de *layers* do *ArcGis*, verificou tratar-se de um pedido de licenciamento (feito em janeiro de 2018, com pedido de expansão em setembro do mesmo ano – tabela 7).

Referir que, a cerca de 4km a Noroeste, existe também um novo pedido efetuado em janeiro de 2019.

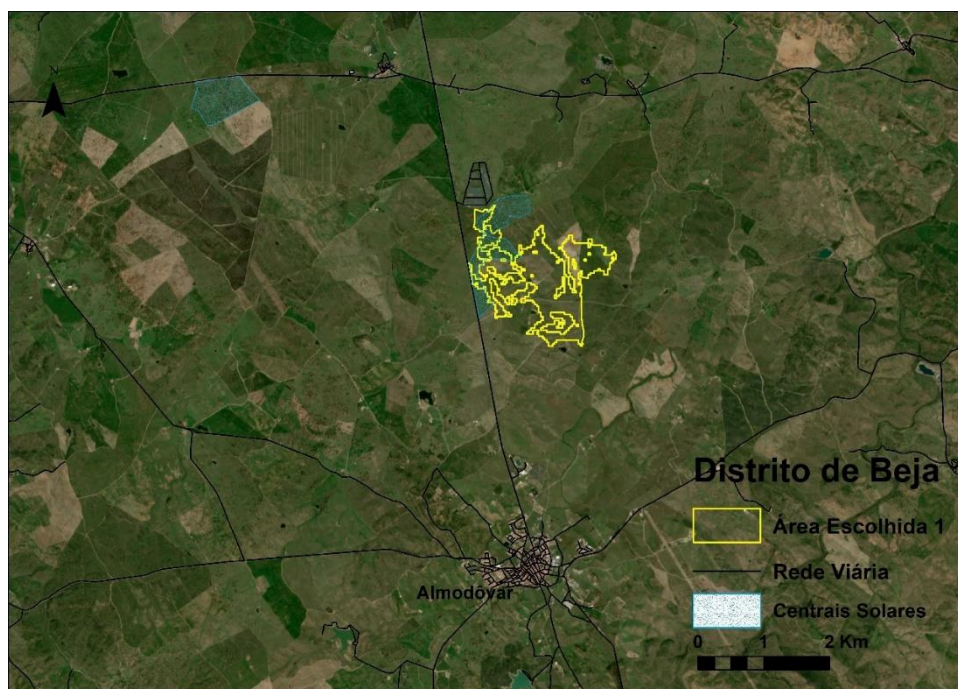


Figura 22 - Área escolhida 1, distrito de Beja

Esta situação, apesar de impossibilitar a implementação de uma infra-estrutura no local (em caso de avanço efetivo da construção planeada), serve também para verificar a veracidade do método.

Tipo instalação	Processo	Designação	Proprietário	Data pedido licenciamento
Solar Fotovoltaico	1577	Almodôvar	Luso – Insular – Projetos e Investimentos, S.A.	15-01-2018
Solar Fotovoltaico	1879	Almodôvar	Luso – Insular – Projetos e Investimentos, S.A.	15-09-2018
Solar Fotovoltaico	1860	Almodôvar	Muki Solar, Lda	15-01-2019

Tabela 7 – Ferramenta de informação dos impedimentos área escolhida 1, distrito de Beja

Neste momento, surge a necessidade de analisar a segunda maior área disponível no distrito de Beja. A zona em questão apresenta uma área de 133,7ha (figura 23), apesar de o poligono não ser regular, localizando-se no concelho de Ourique, a cerca de 4,5km a Sudeste da vila de Ourique, aproximadamente a 245m de altitude.

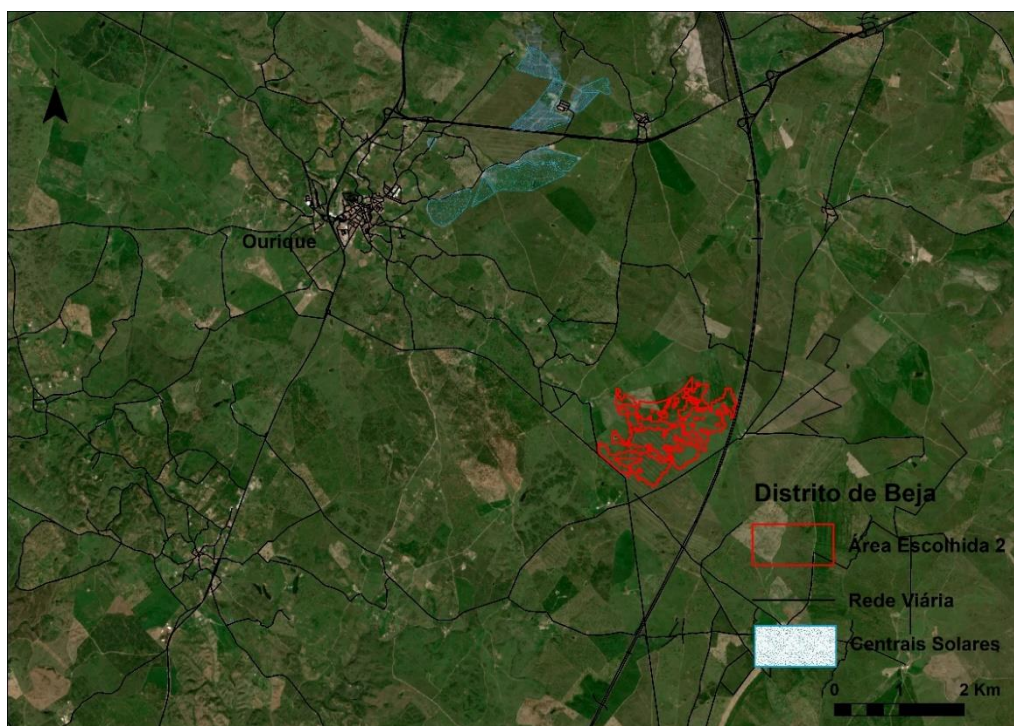


Figura 23 - Área escolhida 2, distrito de Beja

Observando a Figura 23, trata-se de uma zona bastante aceitável em termos de acesso rodoviário e ligação à rede elétrica. Existe também grande aposta nesta região, como se pode constatar na tabela 8. A Nordeste de Ourique há vários pedidos de licenciamento e também a central fotovoltaica *Ourika* já referenciada anteriormente.

Tipo instalação	Processo	Designação	Proprietário	Data pedido licenciamento	Data Lic. concedido	Data início exploração
Solar Fotovoltaico	1340	Ourique	Expoentfokus – Unipessoal, Lda	30-09-2015	04-01-2016	-
Solar Fotovoltaico	1348	<i>Ourika</i>	Morningchapterc – Unipessoal, Lda	09-10-2014	20-08-2015	08-06-2018
Solar Fotovoltaico	83	Ourique	Green Egg – Sustainability Solutions – Unipessoal, Lda	30-11-2017	-	-

Tabela 8 - Novos pedidos licenciamento na região de Ourique

Para analisar a irradiação recebida por unidade de área (Wh/m^2) nas zonas escolhidas, recorreu-se, como visto, à ferramenta *zonal statistics as table*, que relaciona as zonas calculadas pelo método com a média anual de irradiação recebida dentro das mesmas calculando, valores como: o menor, maior e valor médio de irradiação recebida por metro quadrado; mas também a totalidade de irradiação recebida pela zona.

De notar que a área escolhida 1 possui uma maior irradiação recebida (na totalidade), mas também maior dimensão. No entanto estará já planeada uma outra central fotovoltaica para este local. A tabela 9 resume, em termos de irradiação, o estudo realizado para o distrito de Beja.

	Área (ha)	Mínimo (kWh/m^2)	Máximo (kWh/m^2)	Média (kWh/m^2)	Soma (kWh/m^2)
Beja	42629,0	30,2	117,5	102,4	1 166 572 229
Área Escolhida 1	170,8	103,0	106,3	104,3	197 113,5
Área Escolhida 2	133,7	103,0	105,7	104,1	155 274,2

Tabela 9 - Resultados do cálculo da irradiação, distrito de Beja

Apesar de se situarem em concelhos diferentes, os dois resultados são zonas próximas uma da outra. Aplicando a ferramenta *measure*, conclui-se que distam 11km entre si. Quanto às zonas sombreadas, sabemos, de acordo com a legenda, que quanto mais escura for a zona, mais sombra irá ter. Como podemos ver na figura 24 a área apresenta um sombreamento constante, mas não muito elevado, como é padrão no distrito de Beja. A área escolhida 2 apresenta valores de *Hillshade* constantes, no intervalo 180-190 e em seu redor valores mais variáveis (170-185). Referir também que a primeira área apresenta no seu interior um *hillshade* na ordem dos 185 e em seu redor só apresenta valores semelhantes a Sul. Nas outras direções os valores são em média 175.

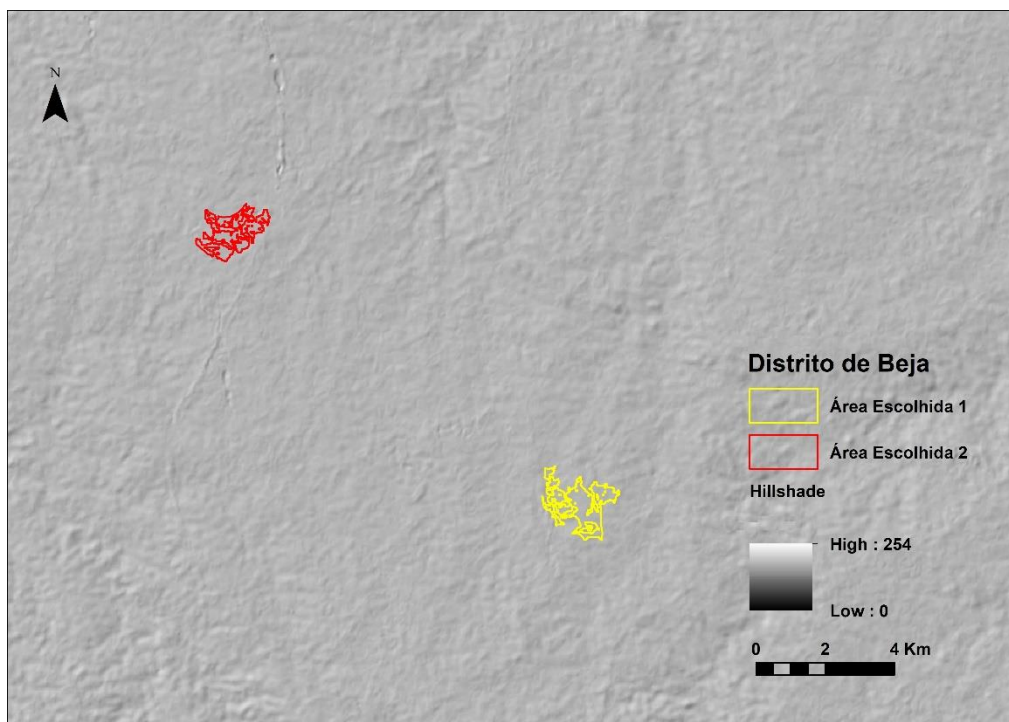


Figura 24 – Hillshade áreas escolhidas 1 e 2, distrito de Beja

Após análise do MDT, com outra gama de cores para melhor visualização, verifica-se também que a área escolhida 1 tem exposição dominante a Nordeste e a área 2 a Noroeste, ou seja possui uma altitude superior a Sul das regiões calculadas (figura 25). No entanto, os declives são menores que 4%, condição imposta anteriormente, havendo, obviamente a hipótese de colocar os painéis com inclinação para Sul (recorrendo a estruturas), mais indicada no Hemisfério Norte.

De referir que a paleta de cores se ajusta ao distrito onde se insere, ou seja, em Beja o ponto mais alto nesta janela é de ‘apenas’ 570m de altitude mas assume cor mais escura, ao contrário por exemplo do MDT para o país todo. Esta situação aumenta a precisão do estudo MDT para cada distrito/área escolhida.

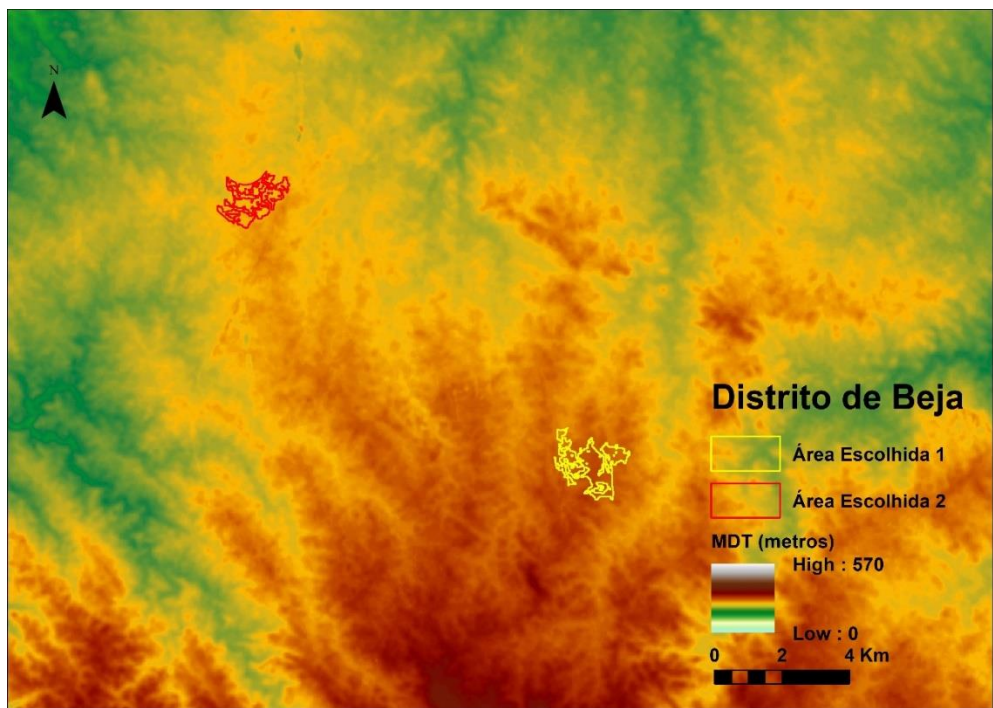


Figura 25 – MDT áreas escolhidas 1 e 2, distrito de Beja

Faro

Faro é um distrito que apesar de ser bastante conhecido em termos de potencialidades solares, é montanhoso a Norte, mas também coberto por zonas protegidas e aglomerados populacionais a Oeste e Sul do distrito. É também o distrito mais pequeno dos analisados. Factos que baixam as áreas das 'áreas finais' (figura 26). A soma das mesmas verifica-se ser muito inferior à de Beja, 5075,23ha. Foram calculadas duas áreas de destaque. A primeira de 33,9ha, perto da povoação Pereiro no concelho de Alcoutim a cerca de 210m de altitude. Como podemos ver na figura 29 e na tabela 10 existem já diversos pedidos de licenciamento nesta área, entre os quais o projeto *SOLARA4* já mencionado. Referir que a terceira (28,9ha – 260m altitude) e quarta (25,7ha – 255m) maiores zonas se localizam bastante perto da primeira, a 5 e 7,5km respetivamente – figura 27. A figura 19 mostra sub-estação da RNT em Tavira (cerca 20km Sudoeste da área escolhida 1).

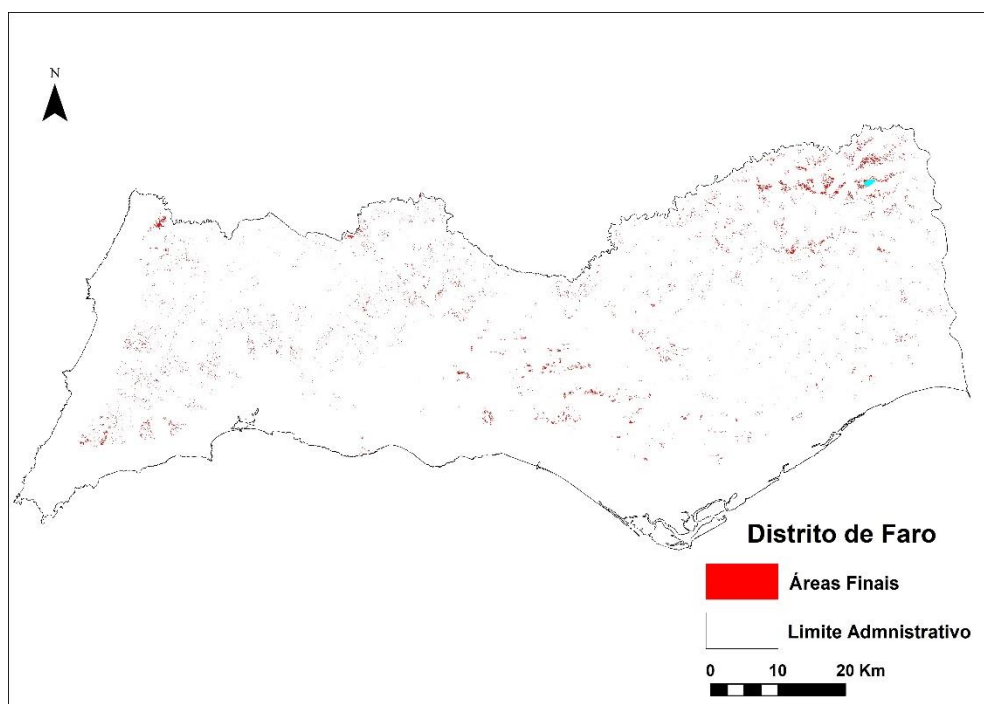


Figura 26 - Áreas finais, distrito de Faro

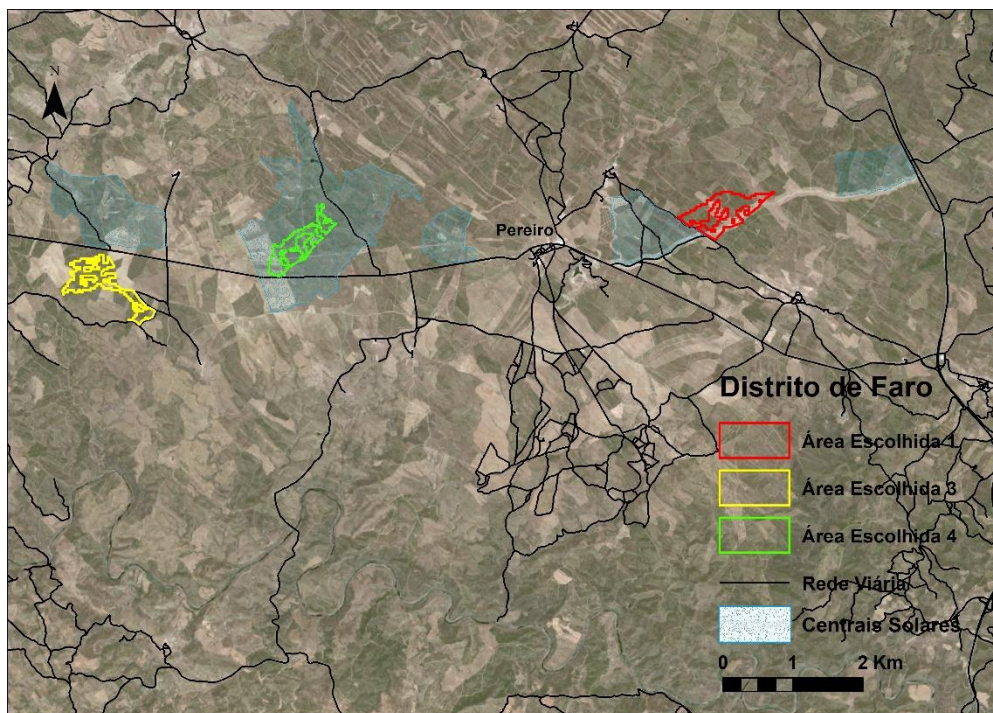


Figura 27 - Áreas escolhidas 1, 3 e 4, distrito de Faro

Uma possível explicação para o facto de as áreas escolhidas 1 e 3 não se encontrarem, aqui, sobrepostas com outras já projetadas para uma infra-estrutura solar, pode ser o facto de duas destas estarem projetadas numa zona de impedimento, neste caso a rede viária, como se pode observar na figura 28.

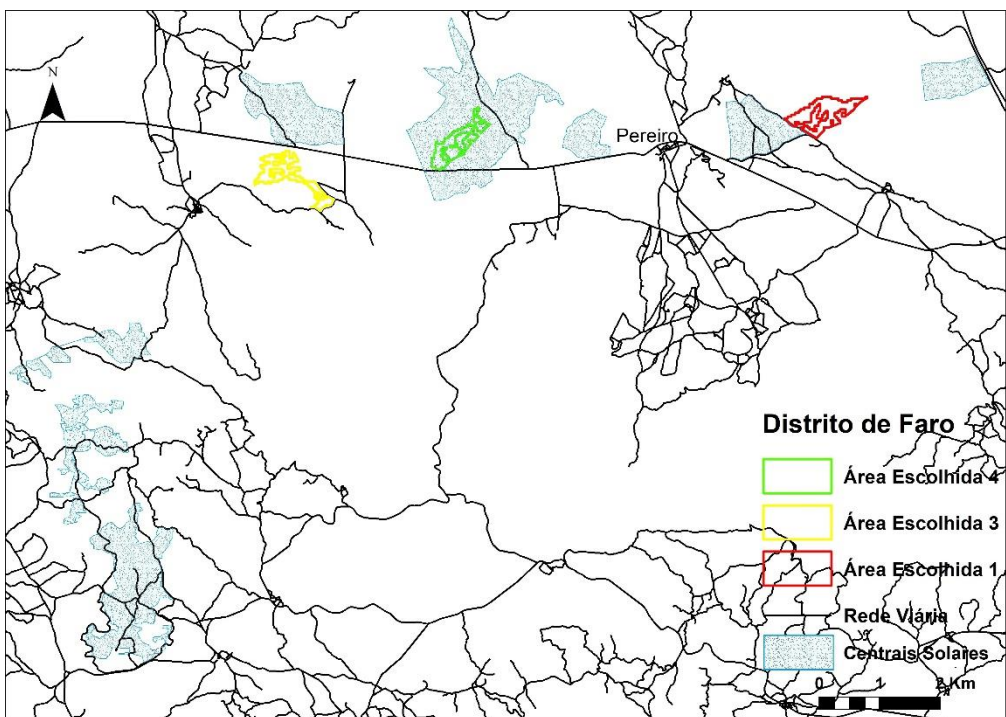


Figura 28 - Áreas escolhidas 1, 3 e 4 (2), distrito de Faro

Tipo instalação	Processo	Designação	Proprietário	Data pedido licenciamento	Data Lic. concedido
Solar Fotovoltaico	1368	Albercas	Muki Solar, Lda	17-06-2016	04-05-2018
Solar Fotovoltaico	1380	S Marcos	Muki Solar, Lda	17-06-2016	04-05-2018
Solar Fotovoltaico	1401	Pereiro	Muki Solar, Lda	17-06-2016	-
Solar Fotovoltaico	1470	Viçoso	Muki Solar, Lda	-	-
Solar Fotovoltaico	1343	Alcoutim	Solara4 Energias Renováveis, Lda	16-10-2014	16-09-2016
Solar Fotovoltaico	1776	Pereiro	Suggestion Power, Lda	15-01-2019	

Tabela 10 - Ferramenta de informação de impedimento áreas escolhidas, distrito de Faro

Faro é um distrito com morfologia mais irregular que Beja, pelo que existem algumas zonas de sombra, sobretudo no Norte do distrito. A figura 29 mostra que as zonas seleccionadas se localizam numa zona de sombramento constante, mas relativamente inferior. No Interior da área escolhida 1 os valores de *hillshade* variam entre 175 e 185 e em seu redor existem zonas de maior sombreamento a Sul (165), contudo a Norte chegam a haver valores de 195. As áreas 3 e 4 apresentam um *hillshade* de 185, em média e em seu redor valores semelhantes, exceto a Sul, onde são bastante inferiores, especialmente na área 3 (aprox. 165).

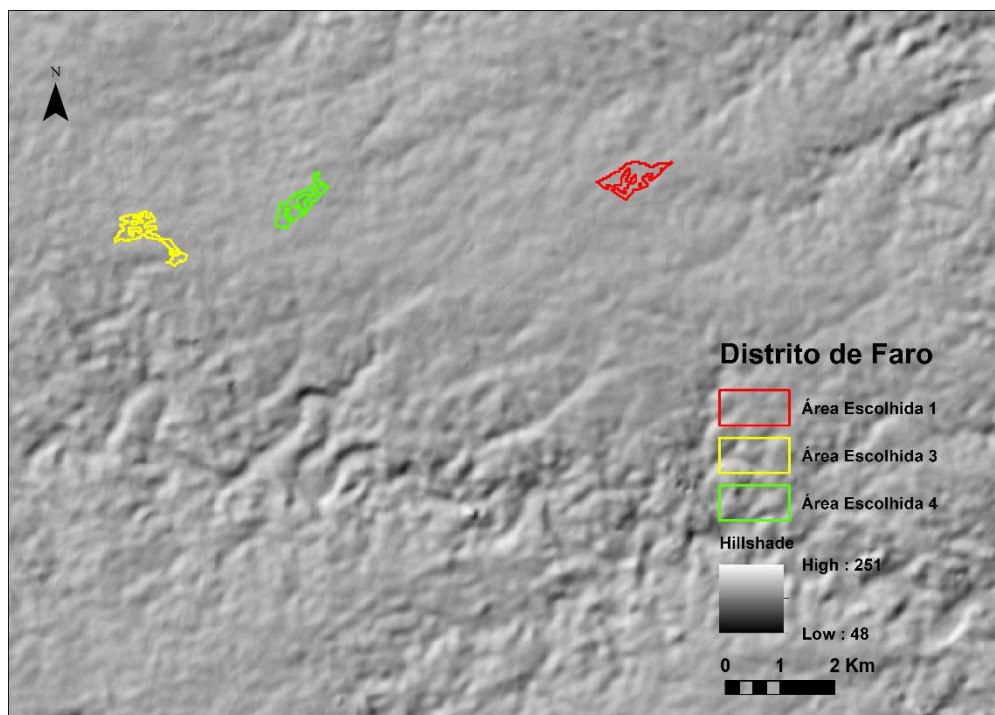


Figura 29 - Hillshade áreas escolhidas 1, 3 e 4, distrito de Faro

Analisando o MDT nesta zona (figura 30), constata-se que a envolvente à área escolhida 1 tem uma exposição dominante a Este, a área 3 para Norte visto ter uma zona mais escura a Sul. Já a área 4 apresenta uma exposição dominante a Nordeste, não esquecendo que no seu interior, todas as zonas possuem declives inferiores a 4%.

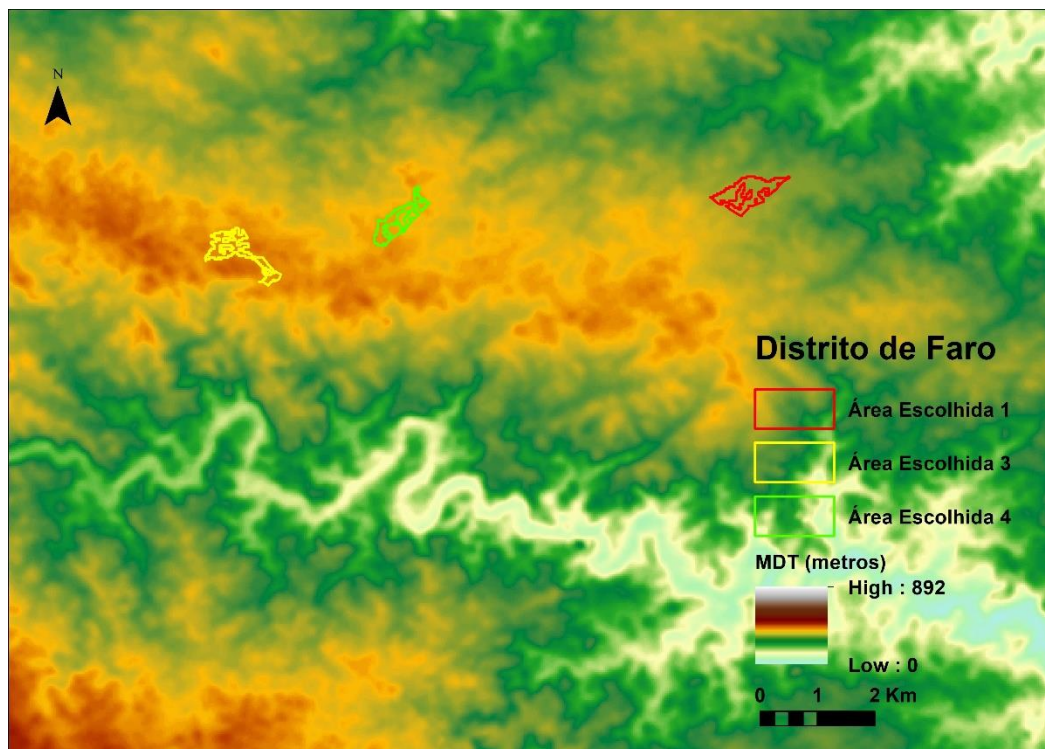


Figura 30 - MDT áreas escolhidas 1, 3 e 4, distrito de Faro

Avança-se assim para a segunda maior área calculada, localizada no concelho de Aljezur, a sudeste de Odeceixe – figura 31. Como vimos tem 30,6ha e é um polígono mais regular que os anteriores estando a cerca de 50m de altitude. É uma zona rodeada pela rede viária exceto a Sul, mas um pouco afastada de sub-estações da rede elétrica, recorrendo novamente à figura 19, observam-se pontos de ligação a Nordeste (Luzianes) e a Sudeste (Portimão). Utilizando a ferramenta *measure* verifica-se que dista cerca de 30km da primeira e também da segunda, cerca de 5km da linha de costa e aproximadamente 550m do *buffer* das zonas protegidas (de 1km), pelo que não ficou situada em nenhuma zona de impedimento.

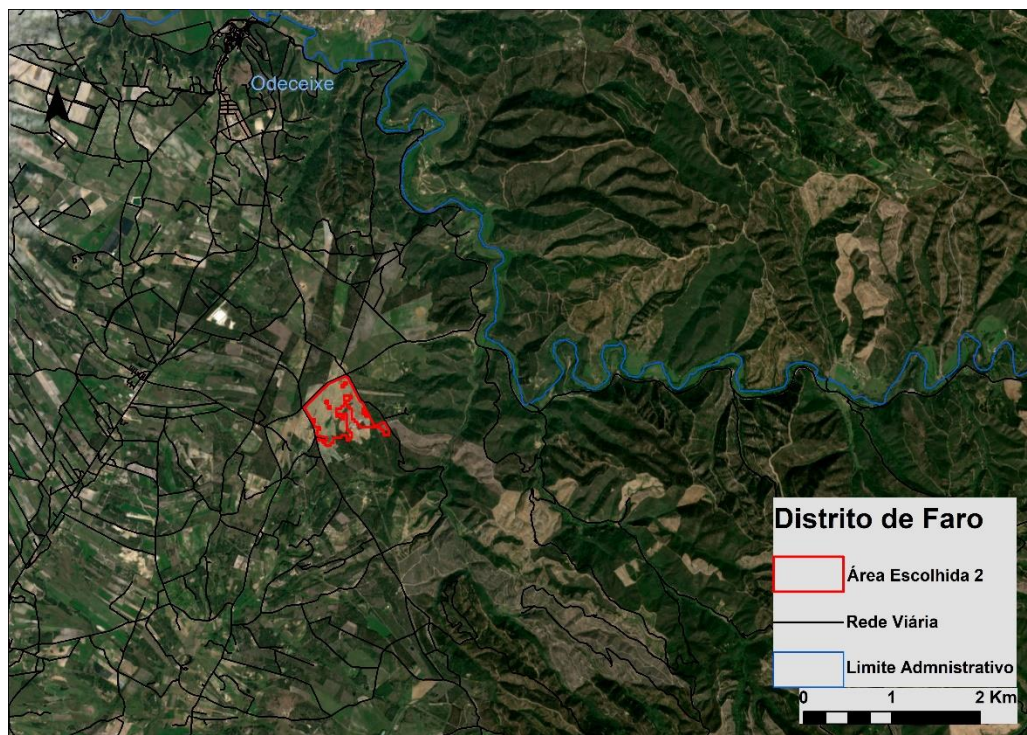


Figura 31 - Área escolhida 2, distrito de Faro

Na figura 32 relativa ao sombreado da segunda área, verifica-se que é uma zona bastante constante, apesar de haver uma área sombreada (MDT indica que se trata de um vale) cerca de 600m a Este do local escolhido, não tendo assim, influência na área escolhida. No Interior da área seleccionada o *hillshade* mostra-se na ordem dos 180. A Norte, Oeste e Este (excepto no vale) os valores são similares mas a Sul baixam até aos 160.

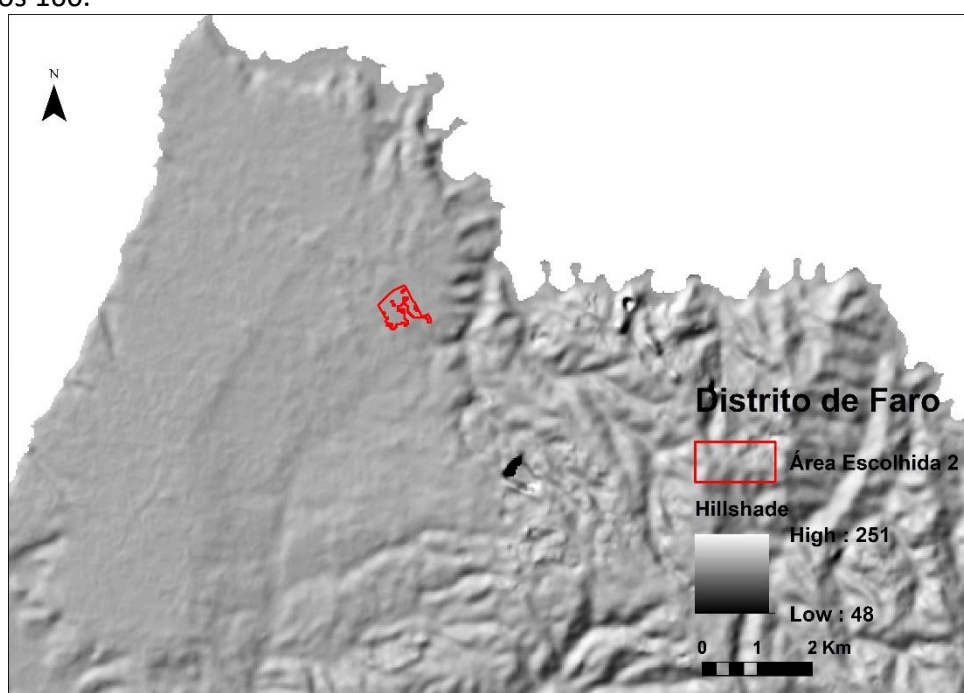


Figura 32 - Hillshade área escolhida 2, distrito de Faro

Quanto à análise da orientação do terreno da área escolhida 2 pela figura 33, verifica-se que é uma zona com uma altitude baixa e com exposição dominante a Sul.

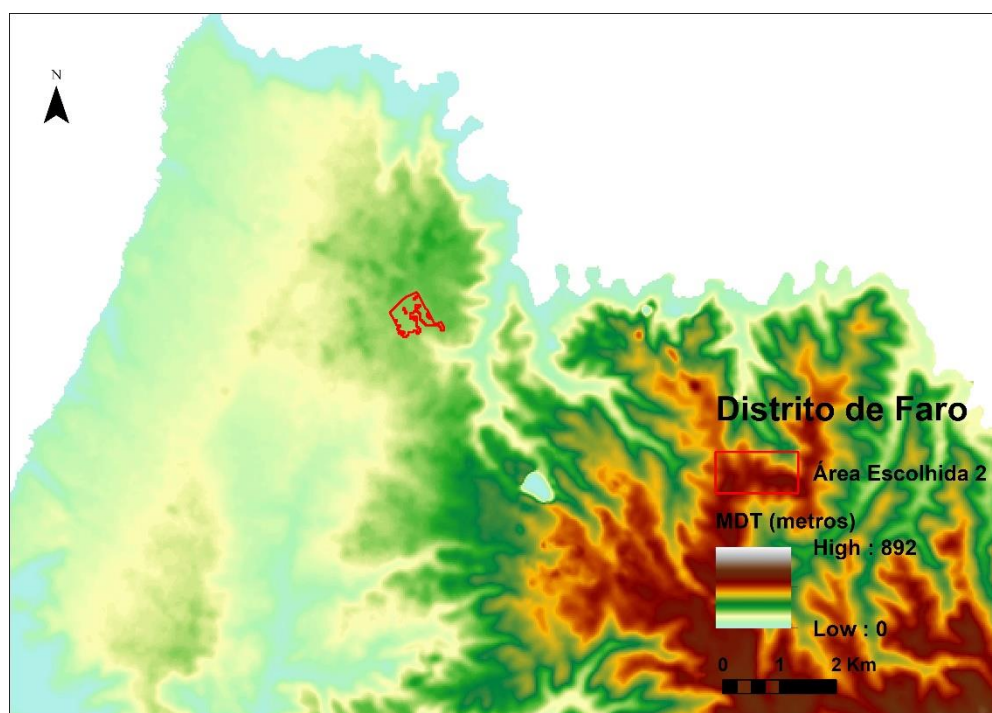


Figura 33 - MDT área escolhida 2, distrito de Faro

Pelo resultado da ferramenta estatística verifica-se na tabela 11, que também neste caso, as maiores áreas recebem, na totalidade, uma maior irradiação.

	Área (ha)	Mínimo (kWh/m ²)	Máximo (kWh/m ²)	Média (kWh/m ²)	Soma (kWh/m ²)
Faro	5075,2	22,2	123,1	102,7	566 138 382,3
Área Escolhida 1	33,9	103,0	106,4	104,4	39 896,4
Área Escolhida 2	30,6	103,0	105,2	104,1	35 170,9
Área Escolhida 3	28,9	103,5	107,0	105,2	33 757,1
Área Escolhida 4	25,7	103,6	106,9	105,2	30 506,3

Tabela 11 - Resultados do cálculo da irradiação, distrito de Faro

Castelo Branco

No distrito de Castelo Branco, a primeira área calculada a partir das áreas finais (figura 34) foi de 67,6ha a cerca de 400m de altitude, tem uma pequena porção incluída no concelho do Fundão, mas a maior parte no concelho de Castelo Branco. Verifica-se ser bastante irregular e está localizada a cerca de 14km da ligação Fatela (figura 19). Querendo analisar mais zonas devido à irregularidade da primeira, constata-se haver duas áreas de dimensão semelhante, a primeira no concelho de Penamacor também bastante irregular, mas mais longe da rede elétrica, pelo que se analisou a terceira maior área do distrito, no concelho da Covilhã, com 37,2ha a cerca de 430m de altitude. Neste distrito, estão disponíveis 8576,35ha, segundo o método seguido.

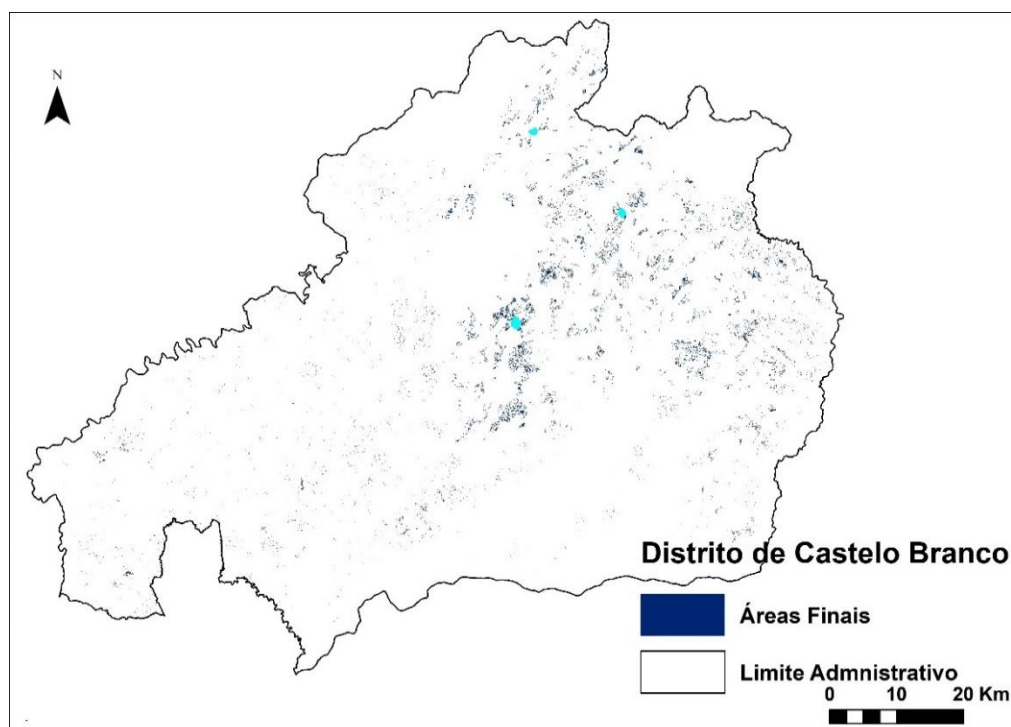


Figura 34 - Áreas finais, distrito de Castelo Branco

A primeira área selecionada localiza-se a 1,5km a Norte da aldeia de Lardosa, sendo bem servida pela rede viária. A barragem de Santa Águeda localiza-se a cerca de 3km a Sudoeste como se verifica na figura 35.

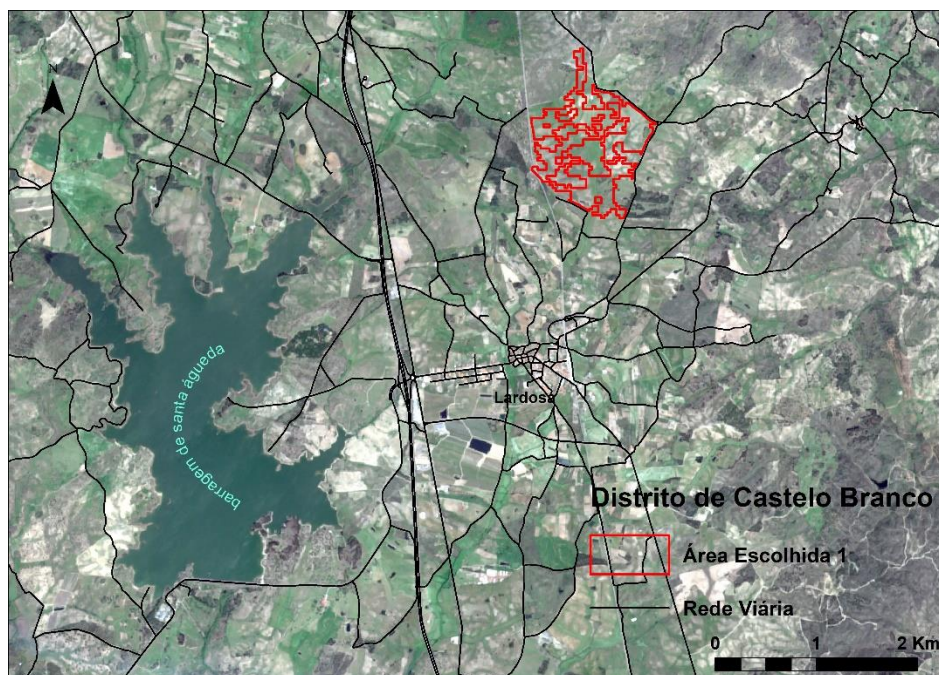


Figura 35 - Área Escolhida 1, Castelo Branco

A segunda área (a terceira calculada) fica 1km a Nordeste da aldeia de Peraboa e a sensivelmente 6km a Este da Covilhã, confinando com o *buffer* do algomerado (1km) de Peraboa (figura 36). Tem bons acessos rodoviários e dista 6km da sub-estação Ferro (figura 19). Existe um pedido para uma central de cerca de 42ha a 1km a Nordeste (Várzea 2) tendo o IP2 entre estas zonas. Existem alguns pedidos de licenciamento nas proximidades (tabela 12), não estando, neste caso, sobrepostos com a área escolhida.

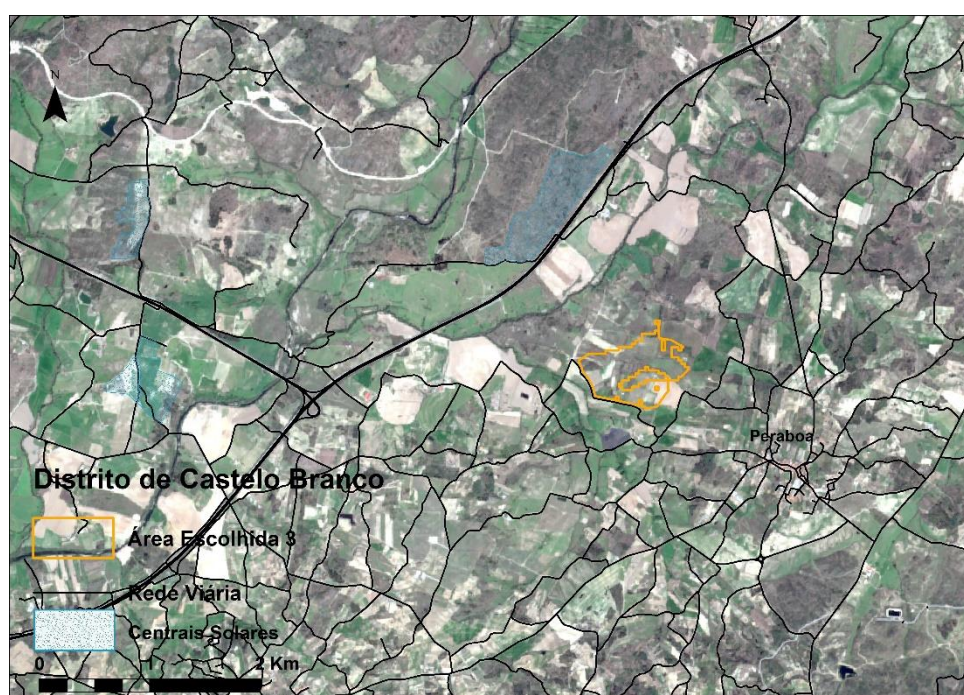


Figura 36 - Área escolhida 3, distrito de Castelo Branco

Tipo instalação	Processo	Designação	Proprietário	Pedido licenciamento
Solar Fotovoltaico	1782	Vázeza 2	Eurowind Energy, Lda	14-01-2019
Solar Fotovoltaico	1725	Quinta do Prazo	Eurowind Energy, Lda	17-09-2018
Solar Fotovoltaico	1765	Quinta das Vázeras	Voltália Portugal, SA	15-01-2019

Tabela 13 - Novos pedidos licenciamento região Peraboa

Recorrendo mais uma vez à ferramenta de estatística *zonal statistics as table*, na tabela 13 apresentam-se os valores de irradiação média anual em Castelo Branco e áreas escolhidas.

	Área (ha)	Mínimo (kWh/m ²)	Máximo (kWh/m ²)	Média (kWh/m ²)	Soma (kWh/m ²)
Castelo Branco	8576,35	42,1	134,2	100,4	739 023 918,6
Área Escolhida 1	67,6	101,0	103,3	101,9	76 657,1
Área Escolhida 3	37,2	101,0	103,5	102,3	42 365,0

Tabela 12 – Resultados do cálculo da irradiação, distrito de Castelo Branco

Quanto à análise do sombreamento, dados pelo *hillshade* na figura 37, observa-se que as zonas calculadas têm um tom de cinzento similar, havendo um ‘braço’ da Serra da Estrela entre as mesmas. A área 1 tem no seu interior valores próximos de 180 e ao seu redor apresenta valores inferiores nas fronteiras, mas existem pontos de menor sombreamento nas proximidades. Já a área 2 mostra valores semelhantes à primeira no seu interior, mas no exterior o *hillshade* varia consideravelmente (170-190).

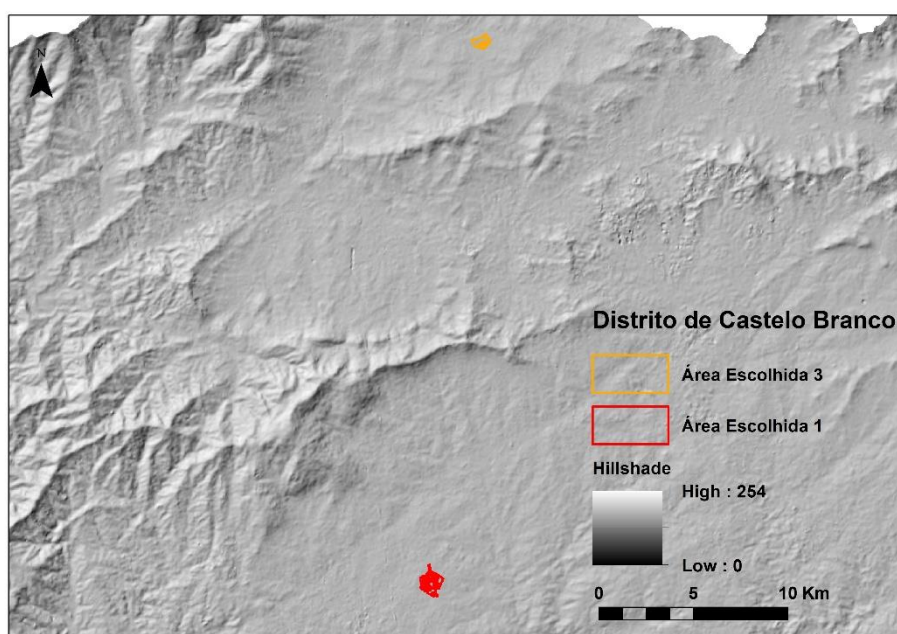


Figura 37 - Hillshade áreas escolhidas 1 e 3, distrito de Castelo Branco

Por análise do MDT na figura 38, comprova-se que são áreas bastante planas e de baixa altitude. A primeira área sugere uma zona menos escura a Sudeste indicando uma exposição nessa direção; enquanto que o polígono seguinte, mais regular, apresenta uma zona de maior altitude a Este (455m) do que a Oeste (425m) indicando uma exposição dominante a Oeste.

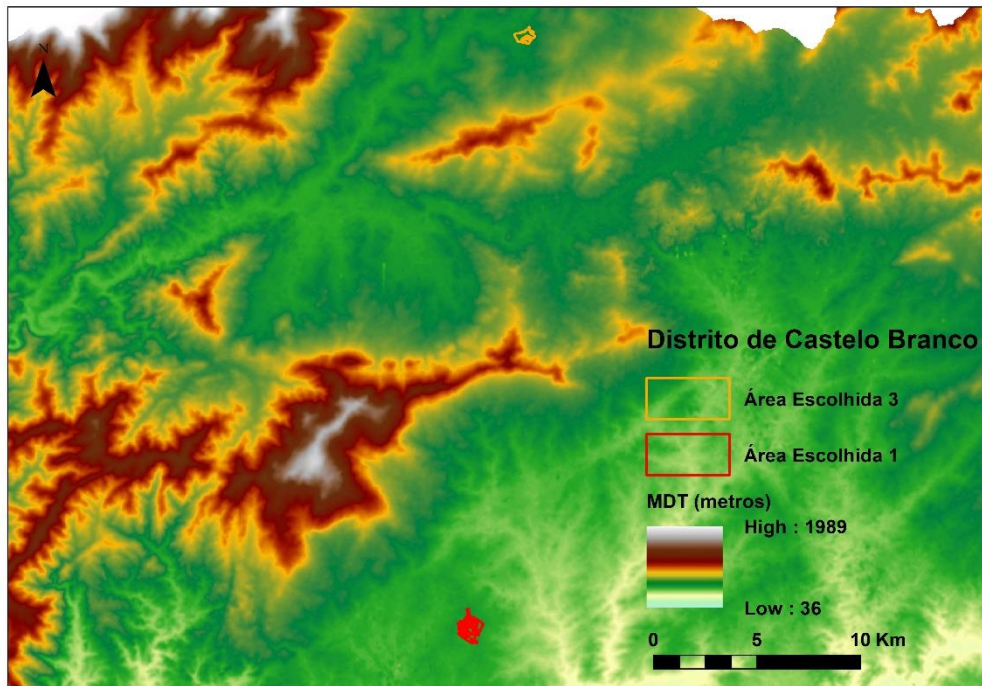


Figura 38 - MDT áreas escolhidas 1 e 2, distrito de Castelo Branco

- **Modelo Físico**

A aplicação *modelbuilder* do *ArcGis* permite ao utilizador criar, gerir e editar um plano/modelo de execução de um trabalho. Ao longo deste projeto foi se construindo o modelo físico, que aqui se visualiza (figura 39) como sumário dos processos utilizados e descritos anteriormente.

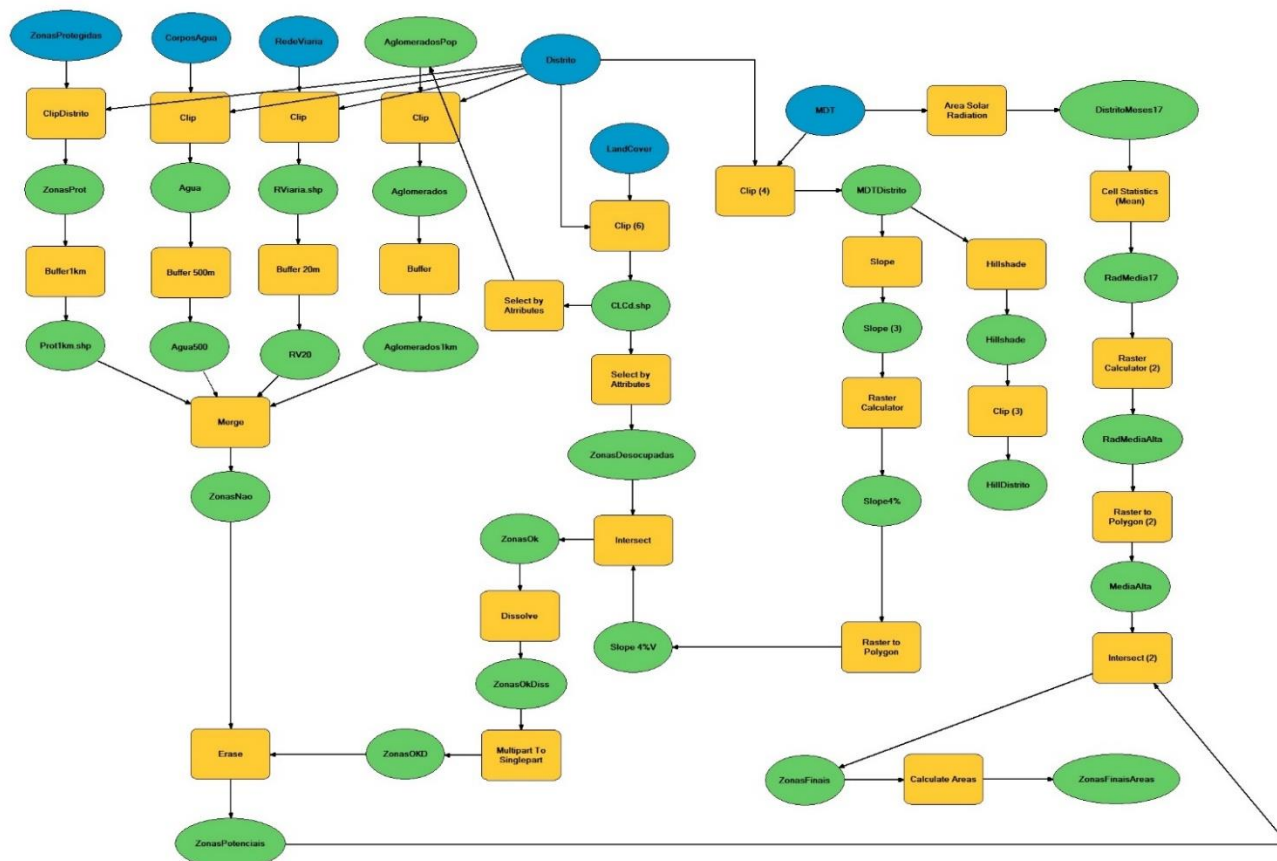


Figura 39 - Modelo físico implementado em Arcgis

Capítulo 4 – Crítica de Resultados e Conclusões

A energia solar é um recurso inesgotável e está presente numa série de campos da Ciência. Beneficia a economia, com novas empresas, mais emprego e menos dependência energética externa. Fica aqui claro que, a nível mundial, a tecnologia solar fotovoltaica se tem vindo a desenvolver e possui enorme potencial no setor das energias renováveis, podendo num futuro próximo liderar este mercado, sobretudo devido à redução de preço que se tem sentido nos últimos anos. A mentalidade da sociedade é, no entanto, algo a melhorar. Crê-se que o investimento na consciencialização das populações dos benefícios das energias renováveis é um dos mais importantes fatores no intuito de uma mudança de paradigma. A energia solar já tem e terá um papel preponderante no futuro das energias renováveis, sendo que quanto mais barata e eficiente for, mais pessoas/empresas estarão dispostas a investir neste tipo de recurso.

Portugal é um dos países da Europa com maior aptidão para receber instalações solares fotovoltaicas/térmicas, visto receber uma média anual de incidência solar bastante elevada. Contudo, é necessário aumentar o investimento nas fontes de energia renovável para produção de eletricidade, nomeadamente na energia solar; definir um planeamento focado no futuro, com o objetivo de trazer valor acrescentado ao país, modernizando-o e elevando-o para outro patamar tecnológico/económico mundial.

Importa também salientar que é imprescindível cumprir os planos de aumentar o número de ligações de transporte de energia entra a Península Ibérica e o resto da Europa, mas também o papel da Bacia do Atlântico no contexto de diversificação das origens das fontes de abastecimento. O facto de Portugal possuir um terminal de média dimensão poderá contribuir para o apoio à diversificação energética europeia e para fazer face a eventuais ruturas temporárias no abastecimento.

Quanto ao terceiro capítulo, relativo ao estudo do potencial fotovoltaico, verificou-se, como era de prever, que as maiores áreas disponíveis, recebem uma maior irradiação incidente. Mesmo falando em termos de distritos (tabela 14), independentemente de, por exemplo, Faro estar localizado mais a Sul, recebe, em média, menos irradiação que distritos como Castelo Branco.

As áreas finais localizam-se no distrito Beja (170,8ha) e Castelo Branco (67,6ha), sendo que no primeiro as áreas têm valores de *hillshade* maiores, o que indica menos sombreamento.

Distrito	Maior Área Disponível (ha)	Somatório Áreas Disponíveis (ha)	Área total (ha)	TOTAL Irradiação Recebida (média anual - kWh/m ²)
Beja	170,80	42 629,01	1 022 500	1 166 572 229
Área 1		170,80		197 113,5
Área 2		133,74		155 274,2
Faro	33,85	5 075,23	496 000	566 138 382,3
Área 1		33,85		39 896,4
Área 2		30,57		35 170,9
Área 3		28,89		33 757,1
Área 4		25,68		30 506,3
Castelo Branco	67,62	8 576,35	667 500	739 023 918,6
Área 1		67,62		76 657,1
Área		37,22		42 365,0

Tabela 14 - Resumo estatístico distritos e áreas escolhidas da área de estudo

O resultado do método de cálculo aparenta ser satisfatório para os distritos estudados, apesar de apresentar algumas falhas. O facto de a rede viária poder dividir uma área em duas distintas, tendo em conta que há hipótese, em alguns casos, de colocação os painéis de ambos os lados, é uma condicionante. No entanto necessária, não havendo risco de construção diretamente numa estrada, por exemplo uma auto-estrada.

A forma irregular apresentada em alguns dos polígonos ao longo do cálculo das áreas escolhidas deve-se a uma de duas razões (ou ambas). O facto de implementação de um critério numérico no cálculo tanto dos declives (*slope*) como da irradiação influenciam a forma final dos polígonos. É difícil incluir uma zona com declive de 3,9% e excluir outra contígua de 4,1%, como é exemplo a área escolhida 1, no distrito de Castelo Branco, onde se verificou que as áreas de menor declive e de maior irradiação (especialmente aqui), apresentam formas um tanto irregulares, mas possivelmente

ainda suficientes para uma boa análise. Ora, com o cruzamento dos dois critérios, a análise torna-se ainda mais difícil, como se comprova na figura 40.

As soluções serão: ignorar as zonas no interior dos polígonos, não consideradas 'ótimas', aumentando assim a área escolhida, já que não foram contabilizadas; ou simplesmente não colocar painéis nessa secção, podendo ser utilizadas para outras componentes da central.

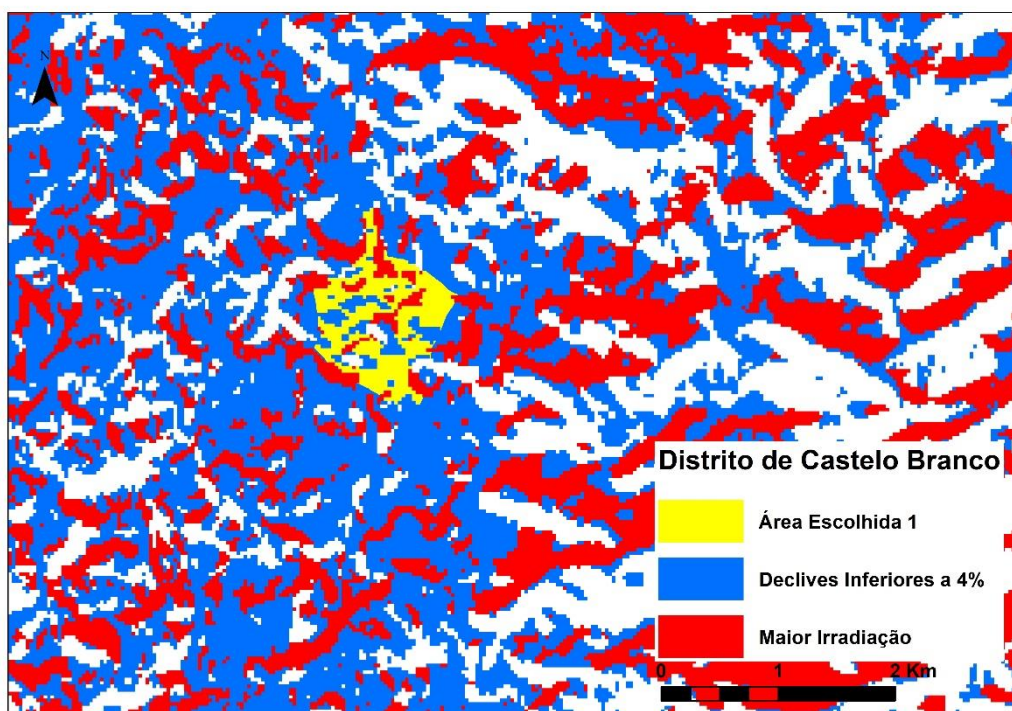


Figura 40 - Interseção áreas finais, área escolhida 1, distrito de Castelo Branco

Ao longo do processo realizado, outras opções foram obrigatoriamente tomadas em relação a métodos de estudo, modos de representação, parâmetros de calibração e cálculo, entre outros. Dentro destes, destaca-se o *skysize*, que, como referido, permite definir a dimensão do céu no resultado calculado e foi dimensionado como uma quadrícula 200x200. É interessante fazer variar este valor, dado que, teoricamente ao aumentar o seu valor, maior será a precisão dos resultados. Assim, de acordo com a literatura referida anteriorente, fez-se aumentar esse valor para 512, sendo escolhido o mês de junho no distrito de Beja.

De facto nota-se uma variação ao nível dos valores da irradiação recebida mas também na definição da imagem. Quanto à escala de valores de irradiação, verifica-se que ao aumentar o *skysize*, a amplitude de valores vai também aumentando. No entanto a variação na definição apenas foi detetada recorrendo a um zoom de 20x (Figuras 43 e 44). A título de curiosidade foi também testado o dobro do valor anterior,

1024 (Figuras 42 e 45). O intervalo de valores de irradiação aumentou, como esperado, contudo não se notou diferença na resolução da imagem. De notar, que se confirmou que quanto maior o valor do *skysize*, o tempo despendido pela ferramenta aumenta exponencialmente.

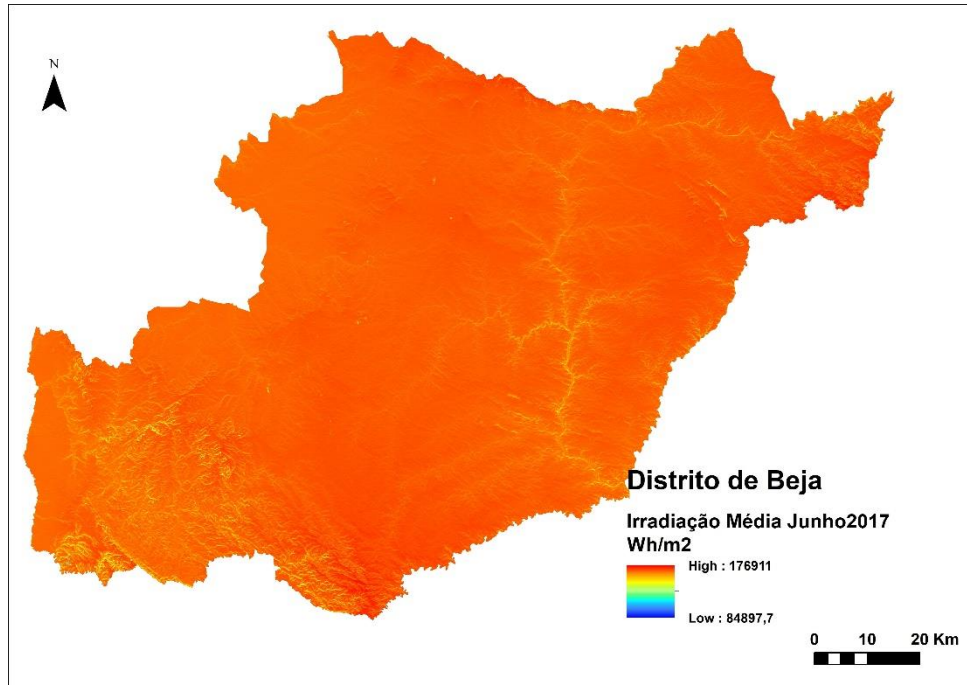


Figura 41 - *Skysize* 200 (padrão), distrito de Beja junho 2017

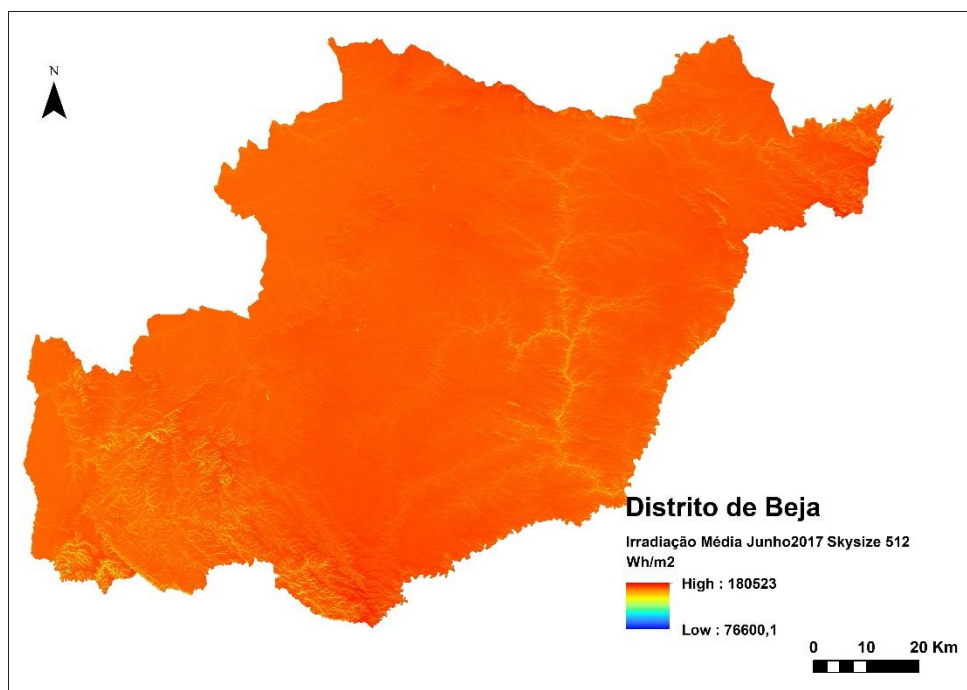


Figura 42 - *Skysize* 512, distrito de Beja junho 2017

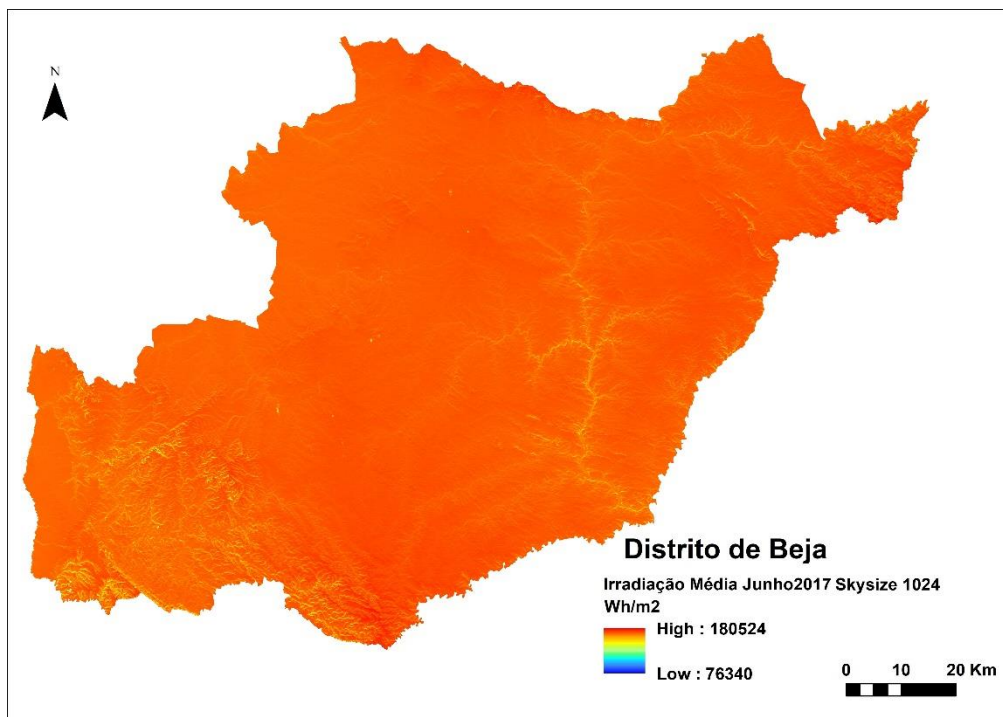


Figura 44 - Skysize 1024, distrito de Beja junho 2017

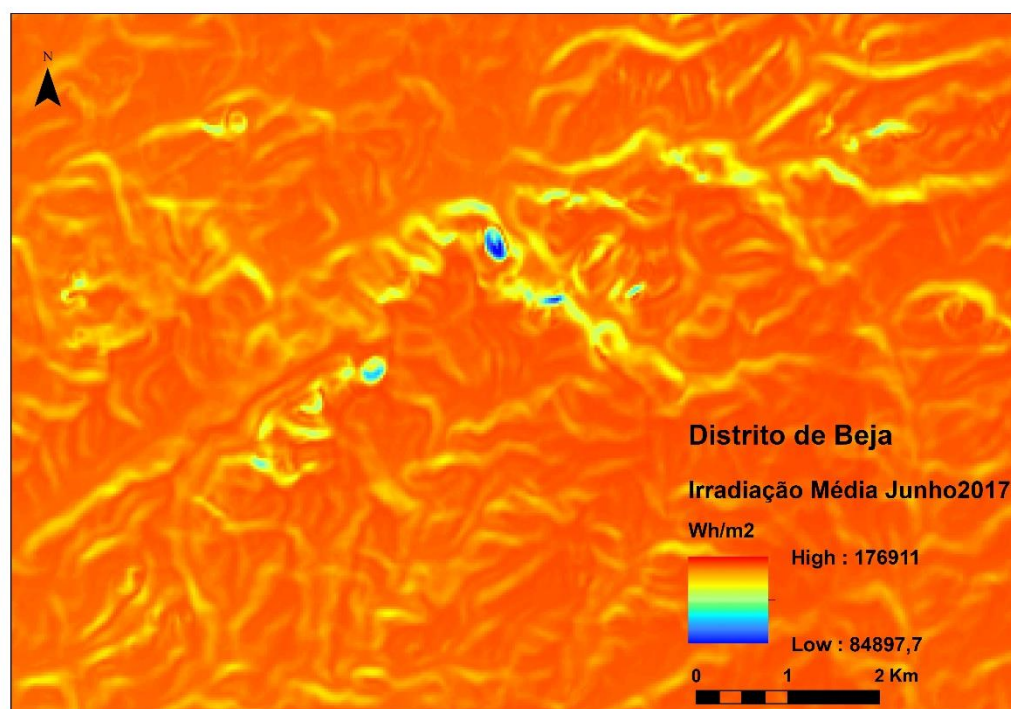


Figura 43 - Skysize 200 (padrão) zoom 500m, distrito de Beja junho 2017

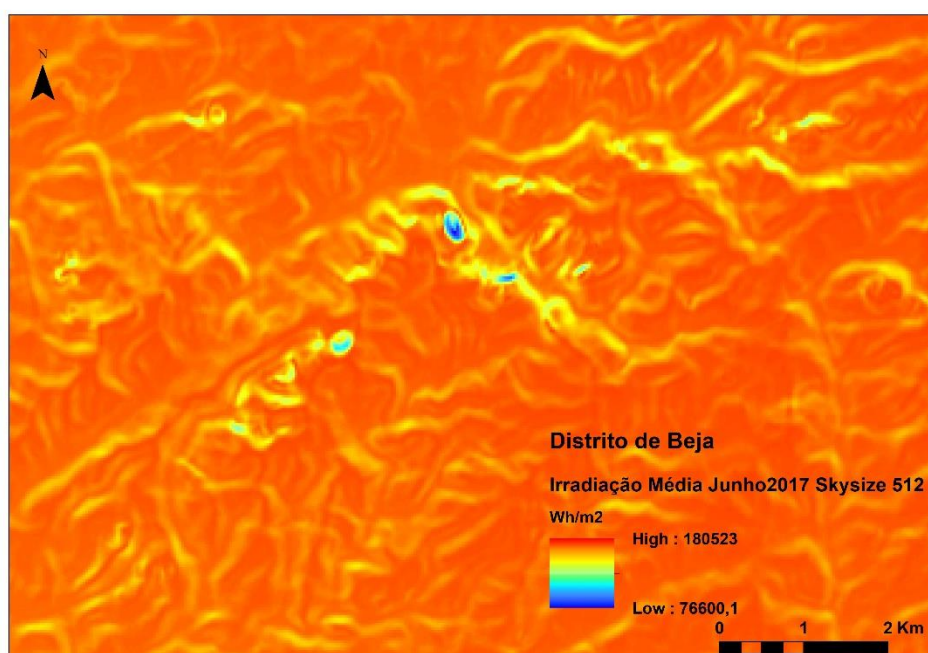


Figura 45 - Skysize 512 zoom 500m, distrito de Beja junho 2017

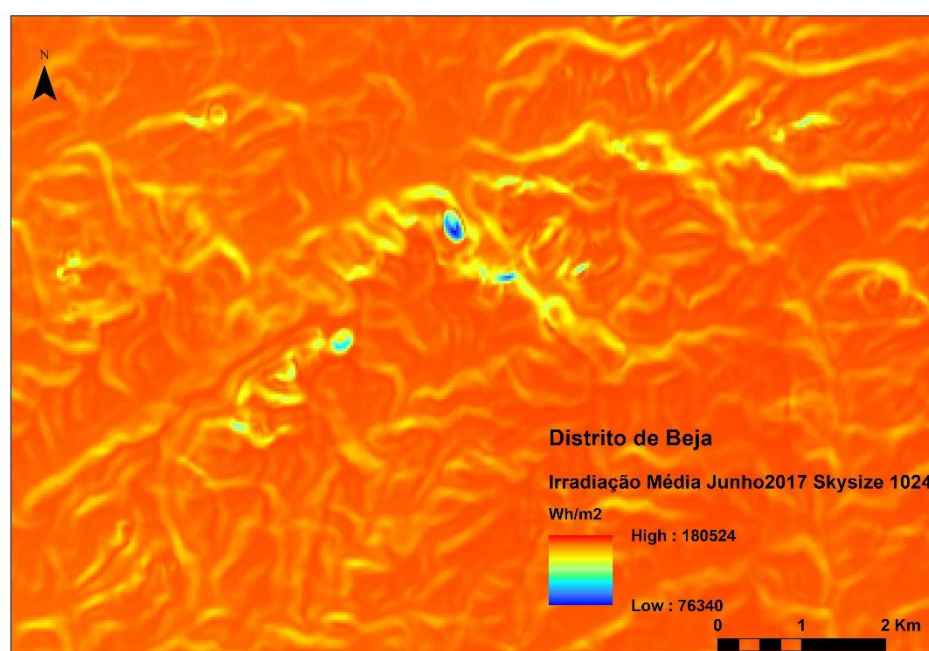


Figura 46 - Skysize 1024 zoom 500m, distrito de Beja junho 2017

A realização deste trabalho permitiu o estudo em profundidade de um tema que é da maior importância e que está na atual agenda política do país. Também foi possível aprofundar conhecimentos, melhorar métodos de pesquisa, organização e estruturação de trabalhos e adquirir nova prática no *software ArcGis*.

Bibliografia

- Ancuta, R., & Matei, F. (2016). Aspects of Solar Radiation Analysis using ArcGis, (October 2013).
- Arias, J. (2018). Solar Energy, Energy Storage and Virtual Power Plants - Potential Opportunities of Collaboration between Japanese and European Firms -, (October).
- BP. (2018). 67th edition. Statistical Review of World Energy, 1–56.
- Brewer, J.; Ames, D. P.; Solan, D., Lee, R. & Carlisle, J. (2015). Using GIS analytics and social preference data to evaluate utility-scale solar power site suitability. *Renewable Energy*, 81, 825–836.
- Catálogo Desenvolvimento Urbano. (n.d.). Servidões e restrições de utilidade pública, retirado de: www.dgterritorio.pt
- Castillo, J.; Yi, T. & McNatt, J. (2017). Solar Power Technologies for Future Planetary Science Missions Solar Power Technologies.
- Collares-Pereira, M. (1998). Energia Solar. Em Energias Renováveis, a opção inadiável (SPES - Soc., pp 85–110). Lisboa
- Collares-Pereira, M. (2000) Energias Renováveis, A Opção Inadiável pp. 108-109, 2000
- Cleveland, C. & Morris, C. (2006). Dictionary of energy.
- Comissão Europeia. Roteiro para a Energia 2050. Comunicação da Comissão ao Parlamento Europeu, ao Conselho, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité Das Regiões. COM: Eurolex; 2011 [consult. 17 dez 2018]; Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/ALL/?uri=CELEX:52011DC0885>
- Comissão Europeia. Um quadro político para o clima e a energia no período de 2020 a 2030. Comunicação da Comissão ao Parlamento Europeu, ao Conselho, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité Das Regiões. COM: Eurolex; 2014 [consult. 17 dez 2018]; Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX%3A52014DC0015>
- European Commission, 2010. Commission Staff Working Document. Accompanying document to the Report from the Commission to the European Parliament and the Council on the application of Council Regulation 2157/2001 of 8 October 2001 on the Statute for a European Company (SE). Brussels: Eurolex; [consult. 21 nov 2018]; Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52010SC1391&from=HRComissão>
- Fu, P., and P.M. Rich. "Design and implementation of the Solar Analyst: an ArcView extension for modeling solar radiation at landscape scales." Proceedings of the Nineteenth Annual ESRI User Conference, 1999.

- GREENPRO, 2004, Energia Fotovoltaica: Manual sobre tecnologias, projecto e instalação, (Lisboa: Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa), (URL: <http://www.voltimum.pt/news/583/cm/manual-sobre-tecnologias--projecto-e-instalacao-de-energias-fotovoltaicas.html>).
- Jahangiri, M.; Ghaderi, R.; Haghani, A. & Nematollahi, O. (2016). Finding the best locations for establishment of solar-wind power stations in Middle-East using GIS: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 66, 38–52.
- Kashani, A. H.; Izadkhast, P. S. & Asnaghi, A. (2014). Mapping of solar energy potential and solar system capacity in Iran, 33(4), 883–903.
- Karam, N. H.; King, R. R. et al. (1999) Development and characterization of high-efficiency dual- and triple-junction solar cells. *IEEE Transactions on Electron Devices*, v. 46, n. 10, p. 2116.
- Kalogirou, S.A. Solar thermal collectors and applications, *Progress in Energy and Combustion, Science* Volume 30, Issue 3, 2004, P 231-295
- Leal, C. M. (2015). Os riscos e oportunidades das bacias do Norte de África e da África Ocidental no abastecimento a Portugal, 45–60.
- Massimo, A.; Dell’Isola, M.; Frattolillo, A. & Ficco, G. (2014). Development of a geographical information system (GIS) for the integration of solar energy in the energy planning of a wide area. *Sustainability (Switzerland)*, 6(9), 5730–5744.
- Micro-gera, T. D. E., & Perif, S. (n.d.). 6 – Painéis Solares Fotovoltaicos 48, 48–52.
- Mounika, T.; Anguluri, R. (2017). 3D City Models for Extracting Urban Environmental Quality Indicators in Greater Hyderabad, Telengana. Springer International Publishing AG2017
- Oloo, F.; Olang, L. & Strobl, J. (2016). Spatial Modelling of Solar Energy Potential in Kenya, *International Journal of Sustainable Energy Planning and Management*; (06):17-30.
- Paillard, C.A. Russia and Europe’s Mutual Energy Dependence (2010). 63(2), 65–85.
- Proença, E.D.R.B. (2007). A Energia Solar Fotovoltaica Em Portugal Retirado de: <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395137487931/Tese%20%20A%20Energia%20Solar%20Fotovoltaica%20em%20Portugal.pdf>
- Quaschnig, V.; Geuderl, N. & Richter, C. (2003). Contribution of concentrated solar thermal power for a competitive sustainable energy supply. *CleanAir2003Conference*
- Quaschnig, V. (2003). Technology Fundamentals -The Sun as an Energy Resource. *Renewable Energy World*, 6(5), 90–93.
- Renewable Energy Agency, I. (2018). *RENEWABLE ENERGY STATISTICS 2018 STATISTIQUES D’ÉNERGIE RENOUVELABLE 2018 ESTADÍSTICAS DE ENERGÍA RENOVABLE 2018 About IRENA*. Retrieved from www.irena.org

- Sánchez-Lozano, J. M.; Teruel-Solano, J.; Soto-Elvira, P. L. & Socorro García-Cascales, M. (2013). Geographical Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods for the evaluation of solar farms locations: Case study in south-eastern Spain. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 24, 544–556.
- Santos, T.; Gomes, N.; Brito, M.; Freire, S.; Fonseca, A. & Tenedório, J. A. (2011). Solar Potential Analysis in Lisbon Using LiDAR Data. Em 31st EARSel Symposium 2011 and 34th General Assembly.
- Sengupta, M., et al. (2015) "Best Practices Handbook for the Collection and Use of Solar Resource Data for Solar Energy Applications."
- Silva, A. C. (2007). A Segurança Energética da Europa, *Nação Defesa*, 33-72.
- Silva, A. C. (2015). Geopolítica da Energia e Segurança da Europa, *Projectar Portugal*
- Spielmann, A. A., & Tonin, A. (2007). Influência da radiação solar na distribuição das comunidades vegetais nas áreas livres de gelo da Baía do Almirantado, Ilha Rei George, Antártica, 2637–2642.
- Sun, Y.; Hof, A.; Wang, R.; Liu, J.; Lin, Y. & Yang, D. (2015). GIS-based approach for potential analysis of solar PV generation at the regional scale : A case study of Fujian Province.
- Task, I. E. A. P., & Lee, J. (2018). End - of - Life Management of Photovoltaic Panels : Trends in PV Module Recycling Technologies End-of-Life Management of Photovoltaic Panels : Trends in PV Module Recycling Technologies. *Energy Policy*, 58(2013), 248–259.
- Trapani, K. & Redón Santafé, M. (2015). "A Review of Floating Photovoltaic Installations: 2007–2013." *Progress in Photovoltaics: Research and Applications* 23 (4): 524–32.
- Urbano, D. (n.d.). *Servidões e restrições de utilidade pública*.
- Uls, E. T. C., Bfkh, B. K., Alterra, G. H., & Destatis, S. A. (2017). Final report Updated CLC illustrated nomenclature guidelines Prepared by (3436), 1–124.
- Viana, V. R.; Silva, A. C., & Fernandes, C. (2014). Portugal , a Geopolítica da Energia e a Segurança Energética Europeia. Lisboa: Instituto de Defesa Nacional.
- Wong, M. S.; Zhu, R.; Liu, Z.; Lu, L.; Peng, J.; Tang, Z. & Chan, W. K. (2016). Estimation of Hong Kong's solar energy potential using GIS and remote sensing technologies. *Renewable Energy*, 99, 325–335.
- Zwaan, B. Van Der, & Rabl, A. (2003). Prospects for PV : a learning curve analysis, 74, 19–31.

Anexos

CAP (MW)	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2017%
WORLD	15 210	23 243	40 327	71 309	99 539	137 889	174 139	225 033	297 019	389 572	100
ÁSIA	2 763	3 468	4 925	8 817	13 074	34 365	57 184	89 543	139 514	209 707	53,83
EUROPA	10 542	17 206	30 867	54 128	73 491	84 025	90 846	99 295	105 863	111 789	28,70
(UE)	10 505	17 187	30 896	53 954	72 983	82 827	89 266	97 367	103 512	108 854	27,94
AMÉRICA do N.	1 670	2 206	3 632	6 180	9 439	14 337	18 504	26 132	37 908	46 539	11,95
OCEANIA	93	117	414	1 419	2 464	3 297	4 068	4 482	4 868	6 135	1,57
AMÉRICA S. & C.	52	78	137	194	359	491	865	1 908	2 782	5 252	1,35
ÁFRICA	75	120	256	349	425	736	1 718	2 203	3 349	4 155	1,07
CIS	4	5	6	8	13	21	50	317	937	3 644	0,94
MÉDIO ORIENTE	10	42	91	215	275	618	905	1 152	1 799	2 350	0,60
CHINA	140	156	417	2 303	3 636	16 202	25 212	43 002	77 569	130 646	33,54
JAPÃO	2 144	2 627	3 618	4 914	6 632	13 599	23 339	34 150	42 040	49 040	12,59
EUA	1 618	2 086	3 382	5 644	8 613	13 045	16 545	23 442	34 858	43 031	11,05
ALEMANHA	6 120	10 567	18 007	25 917	34 077	36 711	37 900	39 245	40 716	42 396	10,88
ITÁLIA	483	1 264	3 597	13 136	16 790	18 190	18 600	18 907	19 289	19 698	5,06
ÍNDIA	25	36	60	529	926	1 336	3 518	5 396	9 647	17 873	4,59
REINO UNIDO	23	27	95	1 000	1 753	2 937	5 528	9 535	11 899	12 760	3,28
FRANÇA	80	277	1 044	2 787	4 012	4 929	5 669	6 755	7 320	8 195	2,10
ESPAÑA	3 450	3 770	4 653	5 501	6 646	7 085	7 087	7 156	7 273	7 278	1,87
AUSTRÁLIA	85	108	402	1 397	2 435	3 258	4 007	4 360	4 721	5 935	1,52
COREIA DO SUL	357	524	650	730	1 024	1 555	2 481	3 613	4 502	5 062	1,30
BÉLGICA	62	386	904	1 391	2 581	2 922	3 027	3 122	3 300	3 571	0,92
TURQUIA	4	5	6	7	12	19	41	250	834	3 422	0,88
CANADÁ	33	95	221	497	766	1 210	1 843	2 517	2 661	2 938	0,75
TAILÂNDIA	32	37	49	79	382	829	1 304	1 425	2 451	2 702	0,69
GRÉCIA	12	46	202	612	1 536	2 579	2 596	2 604	2 604	2 604	0,67
HOLANDA	59	69	90	149	369	746	1 048	1 515	2 049	2 590	0,66
ÁFRICA DO SUL			2	6	11	262	1 163	1 352	2 174	2 486	0,64
CHILE					2	15	221	576	1 125	2 110	0,54
RÉP. CHECA	40	465	1 727	1 913	2 022	2 064	2 068	2 075	2 068	2 061	0,53
SUIÇA	49	79	125	223	437	756	1 061	1 394	1 664	1 924	0,49
ÁUSTRIA	49	71	154	317	363	626	785	937	1 096	1 404	0,36
ROMÉNIA	0	0	0	1	41	761	1 293	1 326	1 372	1 378	0,35
UCRÂNIA			3	188	372	748	819	839	938	1 149	0,29
BRASIL			1	1	2	5	15	23	80	1 097	0,28
BULGÁRIA		2	25	154	1 013	1 020	1 026	1 029	1 028	1 030	0,26
DINAMARCA	3	4	7	17	402	571	607	782	851	906	0,23
FILIPINAS	1	1	1	1	1	1	23	165	765	885	0,23
ISRAEL	9	31	76	196	243	426	676	772	822	852	0,22
PAQUISTÃO	1	4	9	19	46	100	165	230	410	730	0,19
MÉXICO	19	25	29	39	60	82	116	173	389	570	0,15
ESLOVÁQUIA			19	496	513	533	533	533	533	533	0,14
PORTUGAL	59	115	134	172	238	296	415	447	462	476	0,12
HONDURAS	3	4	4	4	5	5	5	393	414	451	0,12
ARGÉLIA			25	25	25	25	26	74	244	425	0,11

Fonte: IRENA

Tabela 15 - Capacidade Instalada Energia Solar (2008-2017)

PROD (GW/h) ▾	2008 ▾	2009 ▾	2010 ▾	2011 ▾	2012 ▾	2013 ▾	2014 ▾	2015 ▾	2016 ▾	2017* ▾	2016* ▾	2017* ▾
WORLD	12 847	21 066	33 867	65 236	100 963	137 314	190 711	250 384	328 710	442 600	100	100
ÁSIA	2 870	3 755	5 320	8 348	13 977	26 819	55 428	88 001	140 953	206 900	42,88	46,75
EUROPA	7 503	14 189	23 382	47 498	71 817	86 800	99 123	109 585	112 764	124 100	34,31	28,04
(UE)	7 470	14 165	23 397	47 551	71 594	86 160	98 297	108 416	111 329	119 700	33,87	27,04
AMÉRICA do N.	2 147	2 651	4 228	6 828	11 095	17 477	26 944	38 776	53 617	81 700	16,31	18,46
OCEANIA	137	172	405	1 413	2 364	3 525	4 084	5 159	6 425	9 000	1,95	2,03
AMÉRICA S. & C.	63	83	123	232	472	814	1 471	3 138	5 416	8 700	1,65	1,97
ÁFRICA	103	136	246	542	751	918	2 042	3 453	5 243	5 900	1,60	1,33
MÉDIO ORIENTE	19	7	155	365	469	931	1 589	2 010	3 129	4 700	0,95	1,06
CIS	6	7	9	10	18	31	30	264	1 162	1 300	0,35	0,29
CHINA	235	345	730	1 999	4 392	8 799	23 758	38 987	67 874	108 200	20,65	24,45
JAPÃO	2 206	2 657	3 543	4 839	6 613	12 880	22 952	34 802	50 952	62 300	15,50	14,08
EUA	2 093	2 515	3 942	6 215	10 145	15 872	24 603	35 635	50 334	77 900	15,31	17,60
ALEMANHA	4 420	6 583	11 729	19 599	26 380	31 010	36 056	38 726	38 098	39 900	11,59	9,01
ITÁLIA	193	676	1 915	10 805	18 871	21 598	22 318	22 954	22 116	25 200	6,73	5,69
ESPANHA	2 578	6 064	7 186	9 400	11 958	13 097	13 673	13 859	13 649	14 400	4,15	3,25
REINO UNIDO	17	20	40	244	1 354	2 010	4 054	7 546	10 421	11 500	3,17	2,60
ÍNDIA	32	38	57	249	866	1 456	2 810	5 672	9 790	21 500	2,98	4,86
FRANÇA	42	174	620	2 078	4 016	4 735	5 913	7 262	8 160	9 200	2,48	2,08
AUSTRÁLIA	127	160	389	1 391	2 325	3 475	4 010	5 023	6 209	8 800	1,89	1,99
COREIA DO SUL	285	566	772	917	1 103	1 605	2 257	3 975	5 123	6 400	1,56	1,45
GRÉCIA	5	50	158	610	1 694	3 648	3 792	3 900	3 930	4 000	1,20	0,90
TAILÂNDIA	39	44	58	94	498	1 257	1 933	2 378	3 377	3 600	1,03	0,81
ÁFRICA DO SUL			1	4	8	54	1 075	2 399	3 341	3 700	1,02	0,84
BÉLGICA	42	166	560	1 169	2 148	2 644	2 883	3 053	3 086	3 000	0,94	0,68
CANADÁ	35	109	255	572	881	1 499	2 120	2 895	3 031	3 200	0,92	0,72
CHILE					0	8	480	1 261	2 639	4 000	0,80	0,90
RÉP. CHECA	13	89	616	2 182	2 149	2 033	2 123	2 264	2 131	2 200	0,65	0,50
ROMÊNIA	0	0	0	1	8	420	1 616	1 982	1 820	1 900	0,55	0,43
HOLANDA	39	45	56	104	226	487	785	1 122	1 560	1 900	0,47	0,43
ISRAEL	16	53	130	334	414	725	1 150	1 313	1 398	1 700	0,43	0,38
BULGÁRIA		3	15	101	814	1 361	1 252	1 383	1 386	1 400	0,42	0,32
SUIÇA	37	54	94	168	300	500	842	1 119	1 333	1 600	0,41	0,36
FILIPINAS	1	1	1	1	1	1	17	139	1 097	1 200	0,33	0,27
ÁUSTRIA	30	49	89	174	337	582	785	937	1 096	1 300	0,33	0,29
TURQUIA	5	7	8	10	17	29	20	197	1 046	2 700	0,32	0,61
PORTUGAL	41	160	211	280	393	479	627	796	822	900	0,25	0,20
DINAMARCA	3	4	6	15	104	518	596	604	744	800	0,23	0,18
PAQUISTÃO	2	5	13	27	66	14	237	330	590	1 000	0,18	0,23
HONDURAS	5	5	6	7	7	7	7	424	892		0,27	0,00

* valor estimado

Fonte: IRENA (adaptado)

Tabela 16 - Produção Global Energia Solar (2008-2017)

CAP (MW)	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2017%
WORLD	14 675	22 477	39 059	69 599	96 966	134 048	169 642	220 284	292 170	384 621	100
ÁSIA	2 763	3 468	4 922	8 809	13 057	34 293	56 937	89 296	139 266	209 460	54,46
EUROPA	10 481	16 922	30 128	52 972	71 484	81 718	88 538	96 987	103 555	109 481	28,46
(UE)	10 444	16 903	30 157	52 798	70 977	80 520	86 957	95 059	101 204	106 546	27,70
AMÉRICA do N.	1 205	1 734	3 159	5 708	8 963	13 051	16 837	24 374	36 150	44 781	11,64
OCEANIA	90	114	411	1 416	2 461	3 294	4 065	4 479	4 865	6 129	1,59
AMÉRICA S. & C.	52	78	137	194	359	491	865	1 908	2 782	5 252	1,37
CIS	4	5	6	8	13	20	49	316	936	3 643	0,95
ÁFRICA	75	120	211	284	360	671	1 553	1 878	2 924	3 630	0,94
MÉDIO ORIENTE	4	36	85	208	269	511	799	1 046	1 692	2 244	0,58
CHINA	140	156	414	2 298	3 628	16 188	25 198	42 988	77 556	130 632	33,96
JAPÃO	2 144	2 627	3 618	4 914	6 632	13 599	23 339	34 150	42 040	49 040	12,75
ALEMANHA	6 120	10 565	18 005	25 915	34 075	36 709	37 898	39 243	40 714	42 394	11,02
EUA	1 153	1 614	2 909	5 172	8 137	11 759	14 878	21 684	33 100	41 273	10,73
ÍTÁLIA	483	1 264	3 592	13 131	16 785	18 185	18 594	18 901	19 283	19 692	5,12
ÍNDIA	25	36	60	527	923	1 283	3 290	5 168	9 418	17 644	4,59
REINO UNIDO	23	27	95	1 000	1 753	2 937	5 528	9 535	11 899	12 760	3,32
FRANÇA	80	277	1 044	2 787	4 012	4 929	5 669	6 755	7 320	8 195	2,13
AUSTRÁLIA	82	105	399	1 394	2 432	3 255	4 004	4 357	4 718	5 929	1,54
COREIA DO SUL	357	524	650	730	1 024	1 555	2 481	3 613	4 502	5 062	1,32
ESPAÑA	3 389	3 488	3 921	4 352	4 646	4 785	4 787	4 856	4 973	4 978	1,29
BÉLGICA	62	386	904	1 391	2 581	2 922	3 027	3 122	3 300	3 571	0,93
TURQUIA	4	5	6	7	12	18	40	249	833	3 421	0,89
CANADÁ	33	95	221	497	766	1 210	1 843	2 517	2 661	2 938	0,76
TAILÂNDIA	32	37	49	79	377	824	1 299	1 420	2 446	2 697	0,70
GRÉCIA	12	46	202	612	1 536	2 579	2 596	2 604	2 604	2 604	0,68
HOLANDA	59	69	90	149	369	746	1 048	1 515	2 049	2 590	0,67
ÁFRICA DO SUL			2	6	11	262	1 063	1 252	1 974	2 186	0,57
CHILE					2	15	221	576	1 125	2 110	0,55
RÉP. CHECA	40	465	1 727	1 913	2 022	2 064	2 068	2 075	2 068	2 061	0,54
SUIÇA	49	79	125	223	437	756	1 061	1 394	1 664	1 924	0,50
ÁUSTRIA	49	71	154	317	363	626	785	937	1 096	1 404	0,37
ROMÉNIA	0	0	0	1	41	761	1 293	1 326	1 372	1 378	0,36
UCRÂNIA			3	188	372	748	819	839	938	1 149	0,30
BRASIL			1	1	2	5	15	23	80	1 097	0,29
BULGÁRIA		2	25	154	1 013	1 020	1 026	1 029	1 028	1 030	0,27
DINAMARCA	3	5	7	17	402	571	607	782	851	906	0,24
FILIPINAS	1	1	1	1	1	1	23	165	765	885	0,23
ISRAEL	3	25	70	190	237	420	670	766	816	846	0,22
PAQUISTÃO	1	4	9	19	46	100	165	230	410	730	0,19
MÉXICO	19	25	29	39	60	82	116	173	389	570	0,15
ESLOVÁQUIA			19	496	513	533	533	533	533	533	0,14
PORTUGAL	59	115	134	172	238	296	415	447	462	476	0,12
HONDURAS	3	4	4	4	5	5	5	393	414	451	0,12
ARGÉLIA							1	49	219	400	0,10

Fonte: IRENA

Tabela 1714 - Capacidade Instalada Energia Solar Fotovoltaica (2008-2017)

PROD (GW/h) ▾	2008 ▾	2009 ▾	2010 ▾	2011 ▾	2012 ▾	2013 ▾	2014 ▾	2015 ▾	2016 ▾	2016% ▾
WORLD	11 937	20 132	32 203	62 179	95 928	131 094	181 670	240 126	317 673	100
Ásia	2 870	3 755	5 319	8 343	13 965	26 728	55 055	87 632	140 584	44,25
EUROPA	7 487	14 086	22 611	45 529	68 033	82 020	93 655	103 980	107 173	33,74
(UE)	7 454	14 062	22 627	45 582	67 810	81 380	92 829	102 810	105 738	33,29
AMÉRICA do N.	1 268	1 835	3 349	5 935	10 136	16 463	24 256	35 232	49 916	15,71
OCEANIA	133	168	402	1 410	2 361	3 522	4 081	5 155	6 421	2,02
AMÉRICA S. & C.	63	83	123	232	472	814	1 471	3 138	5 416	1,70
ÁFRICA	103	136	246	365	486	653	1 789	2 975	4 147	1,31
MÉDIO ORIENTE	8	61	144	354	458	866	1 335	1 756	2 857	0,90
CIS	6	7	9	10	18	28	27	261	1 159	0,36
CHINA	235	345	729	1 998	4 391	8 798	23 751	38 978	67 865	21,36
JAPÃO	2 206	2 657	3 543	4 839	6 613	12 880	22 952	34 802	50 952	16,04
EUA	1 214	1 699	3 063	5 322	9 186	14 858	21 915	32 091	46 633	14,68
ALEMANHA	4 420	6 583	11 729	19 599	26 380	31 010	36 056	38 726	38 098	11,99
ITÁLIA	193	676	1 906	10 796	18 862	21 589	22 306	22 942	22 104	6,96
REINO UNIDO	17	20	40	244	1 354	2 010	4 054	7 546	10 421	3,28
ÍNDIA	32	38	57	245	861	1 371	2 450	5 311	9 429	2,97
FRANÇA	42	174	620	2 078	4 016	4 735	5 913	7 262	8 160	2,57
ESPAÑA	2 562	5 961	6 425	7 441	8 193	8 327	8 218	8 266	8 070	2,54
AUSTRÁLIA	123	156	386	1 388	2 322	3 472	4 007	5 019	6 205	1,95
COREIA DO SUL	285	566	772	917	1 103	1 605	2 557	3 975	5 123	1,61
GRÉCIA	5	50	158	610	1 694	3 648	3 792	3 900	3 930	1,24
TAILÂNDIA	39	44	58	94	493	1 252	1 928	2 378	3 377	1,06
BÉLGICA	42	166	560	1 169	2 148	2 644	2 883	3 053	3 086	0,97
CANADÁ	35	109	255	572	881	1 499	2 120	2 895	3 031	0,95
ÁFRICA DO SUL			1	4	8	54	1 075	2 136	2 842	0,89
CHILE					0	8	480	1 261	2 639	0,83
RÉP. CHECA	13	89	616	2 182	2 149	2 033	2 123	2 264	2 131	0,67
ROMÊNIA	0	0	0	1	8	420	1 616	1 982	1 820	0,57
HOLANDA	39	45	56	104	226	487	785	1 122	1 560	0,49
ISRAEL	5	42	119	322	402	714	1 139	1 302	1 387	0,44
BULGÁRIA		3	15	101	814	1 361	1 252	1 383	1 386	0,44
SUIÇA	37	54	94	168	300	500	842	1 119	1 333	0,42
FILIPINAS	1	1	1	1	1	1	17	139	1 097	0,35
ÁUSTRIA	30	49	89	174	337	582	785	937	1 096	0,35
TURQUIA	5	7	8	10	17	26	17	194	1 043	0,33
HONDURAS	5	5	6	7	7	7	7	424	892	0,28
PORTUGAL	41	160	211	280	393	479	627	796	822	0,26
DINAMARCA	3	4	6	15	104	518	596	604	744	0,23
PAQUISTÃO	2	5	13	27	66	144	237	330	590	0,19

Fonte: IRENA

Tabela 18 - Produção Global Energia Solar Fotovoltaica (2008-2016)

CAP (MW)	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2017%
WORLD	535	765	1 269	1 710	2 573	3 841	4 498	4 749	4 849	4 951	100
EUROPA (UE)	61	284	739	1 156	2 007	2 307	2 308	2 308	2 308	2 308	46,62
AMÉRICA do N.	465	472	473	472	476	1 286	1 667	1 758	1 758	1 758	35,51
ÁFRICA			45	65	65	65	165	325	425	525	10,60
ÁSIA			3	8	16	73	248	248	248	248	5,01
MÉDIO ORIENTE	6	6	6	6	6	106	106	106	106	106	2,14
OCEANIA	3	3	3	3	3	3	3	3	3	6	0,12
CIS						1	1	1	1	1	0,02
ESPAÑA	61	282	732	1 149	2 000	2 300	2 300	2 300	2 300	2 300	46,46
EUA	465	472	473	472	476	1 286	1 667	1 758	1 758	1 758	35,51
ÁFRICA DO SUL			0	0	0	0	100	100	200	300	6,06
ÍNDIA				3	4	54	229	229	229	229	4,63
MARROCOS			20	20	20	20	20	180	180	180	3,64
UAE						100	100	100	100	100	2,02
ARGÉLIA			25	25	25	25	25	25	25	25	0,50
EGITO				20	20	20	20	20	20	20	0,40
CHINA			3	5	8	14	14	14	14	14	0,28
ITÁLIA			5	5	5	5	6	6	6	6	0,12
AUSTRÁLIA	3	3	3	3	3	3	3	3	3	6	0,12
ISRAEL	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	0,12
TAILÂNDIA					5	5	5	5	5	5	0,10
ALEMANHA		2	2	2	2	2	2	2	2	2	0,04
TURQUIA						1	1	1	1	1	0,02

Fonte: IRENA

Tabela 19- Capacidade Instalada Energia Solar Térmica (2008-2017)

PROD (GW/h)	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
WORLD	910	934	1 664	3 057	5 035	6 220	9 041	10 258	11 037	100
EUROPA (UE)	16	103	771	1 968	3 784	4 779	5 467	5 605	5 591	50,66
AMÉRICA do N.	879	816	879	893	959	1 014	2 688	3 544	3 701	33,53
ÁFRICA			0	177	265	265	253	478	1 096	9,93
ÁSIA			1	5	12	91	373	369	369	3,34
MÉDIO ORIENTE	11	11	11	11	11	65	254	254	272	2,46
OCEANIA	4	4	3	3	3	3	3	4	4	0,04
CIS						3	3	3	3	0,03
ESPAÑA	16	103	761	1 959	3 775	4 770	5 455	5 593	5 579	50,55
EUA	879	816	879	893	959	1 014	2 688	3 544	3 701	33,53
ÁFRICA DO SUL			0	0	0	0	0	263	498	4,51
MARROCOS				5	39	39	39	43	439	3,98
ÍNDIA				4	6	84	360	360	360	3,26
UAE						54	243	243	261	2,36
ARGÉLIA			0	103	193	193	197	148	134	1,21
EGITO				68	33	34	16	23	24	0,22
ITÁLIA			9	9	9	9	12	12	12	0,11
ISRAEL	11	11	11	11	11	11	11	11	11	0,10
CHINA			1	1	1	1	7	9	9	0,08
AUSTRÁLIA	4	4	3	3	3	3	3	4	4	0,04
TURQUIA						3	3	3	3	0,03
TAILÂNDIA					5	5	5			0,00

Fonte: IRENA

Tabela 2015 - Produção Global Energia Solar Térmica (2008-2016)